

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082920

久久崇陽 - 利用重力原理研發無電力追日系統

學校名稱：臺北市松山區敦化國民小學

作者： 小五 張宸瑀 小五 周紘宇 小五 周宗禾	指導老師： 趙政德 張恆蔚
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：太陽能、重力式、追日

摘要

目的：利用重力原理改變太陽能板傾斜角度進行動態追日，以提高產電效率。

實驗設計：本研究以節約與廢物利用為主要考量。利用槓桿原理，找出太陽能板最佳的槓桿支撐位置，測試在不同角度所需的重量；室內模擬測量出台北夏至與冬至 10-14 時太陽仰角的照度和電壓值；以水做為重力控制改變太陽能板角度，並配合三段排水的方式來校正中午時段的些微角度偏移。以統計方法驗證實驗組與對照組的差異。

結果：戶外實測結果顯示照度值(12pm, 1053 vs. 993)與電壓值(平均值，42.94 vs. 40.78)，再計算相關係數(0.9285 vs. 0.8997)，發現追日組均優於固定組。

結論：本追日系統創新地以重力調整不同時間太陽能板的傾斜角度，並能使太陽能板自動回復至初始位置，此裝置能成功有效提升太陽能發電效率。

壹、研究動機

“能源”在地球上是有限的，我們生活周圍幾乎都要用到，而且像石油、火力、核能……等，這些在發電後會產生對地球汙染的物質，並不好！因此節能減碳，並且能開發新能源成為生活在地球的我們，一定要做的事；其中太陽能就是一個不耗損能源又不產生對地球有害物質的能源。

在學校的屋頂上看到太陽能板都是固定不動的角度，常想如果太陽在太陽能板的另一側，那不是沒完全吸收到能量很可惜嗎？於是假如可以製造出跟著太陽方位變換角度的太陽能板裝置，而且是不需消耗任何電力的話，不就可以減少消耗又可讓太陽能板吸收到最大能量了嗎？本實驗參考課程相關部分：

翰林版—國小自然【四上 / 第三冊】 3-2 能源與生活

翰林版—國小自然【四下 / 第四冊】 1-2 力的大小和方向

翰林版—國小自然【四下 / 第四冊】 4-1 光在哪裡

翰林版—國小自然【四下 / 第四冊】 4-2 光的行進方向

翰林版—國小自然【五上 / 第五冊】 1-3 太陽與生活

貳、 研究目的

本實驗探討以無電力方式作追日的可行性，查目前已有上市販售為利用太陽能板兩端熱平衡來達到，原理：因為太陽照射後，會造成兩端的熱力的不平衡，而產生壓力差，利用此壓力差驅動追日系統，改變方向。我們製作不一樣的地方：是以重力方式來改變太陽能板傾斜角度，在太陽能板一側固定重量，另一側緩緩施予重量，當重量增加，角度就會傾斜，但是因為中午前後時段的重量改變是較少，所以排水的速度也要減少，我們想出以多段式的排水方式完成了本實驗。

本實驗研究目的：

1. 實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

用不同孔距測出不同角度的荷重，找出最好控制角度的孔距。

2. 實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

讓太陽能板與夏至 10-14 時太陽仰角，呈直射角度後，測荷重與角度、時間關係。

3. 實驗三：在室內模擬測量出台北夏至與冬至 10-14 時太陽仰角的照度和電壓。

自製太陽軌道，先行在室內模擬是否可以測量出正確的數值。

4. 實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

以不同的材料水、沙漏、小鋼珠測試與改善，找出最佳重力的控制方式。

5. 實驗五：實測 10-14 時戶外的電壓與照度值。

比較固定式與自製追日式 10-14 時，照度與電壓值，找出哪一個發電效率大。

6. 實驗六：自動回復原位置。

太陽能板在每日的發電完成後，使面向西方的太陽能板能自動回復到原上午位置。

參、研究設備與器材

一、儀器與設備類：

太陽能板



小鋼珠



砂石



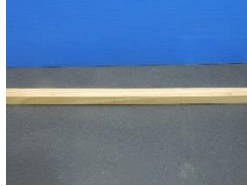
量角器



小型離心管



木頭角材



養樂多瓶



計時器



鉛錘



彈珠



針油瓶(空瓶)



調味瓶



輸液套



萬用角座



寶特瓶



指北針



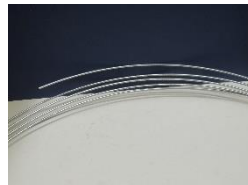
鹵素燈



線路保護軟管



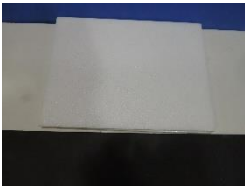
鐵絲



篩網



珍珠板



多用途電表



手套

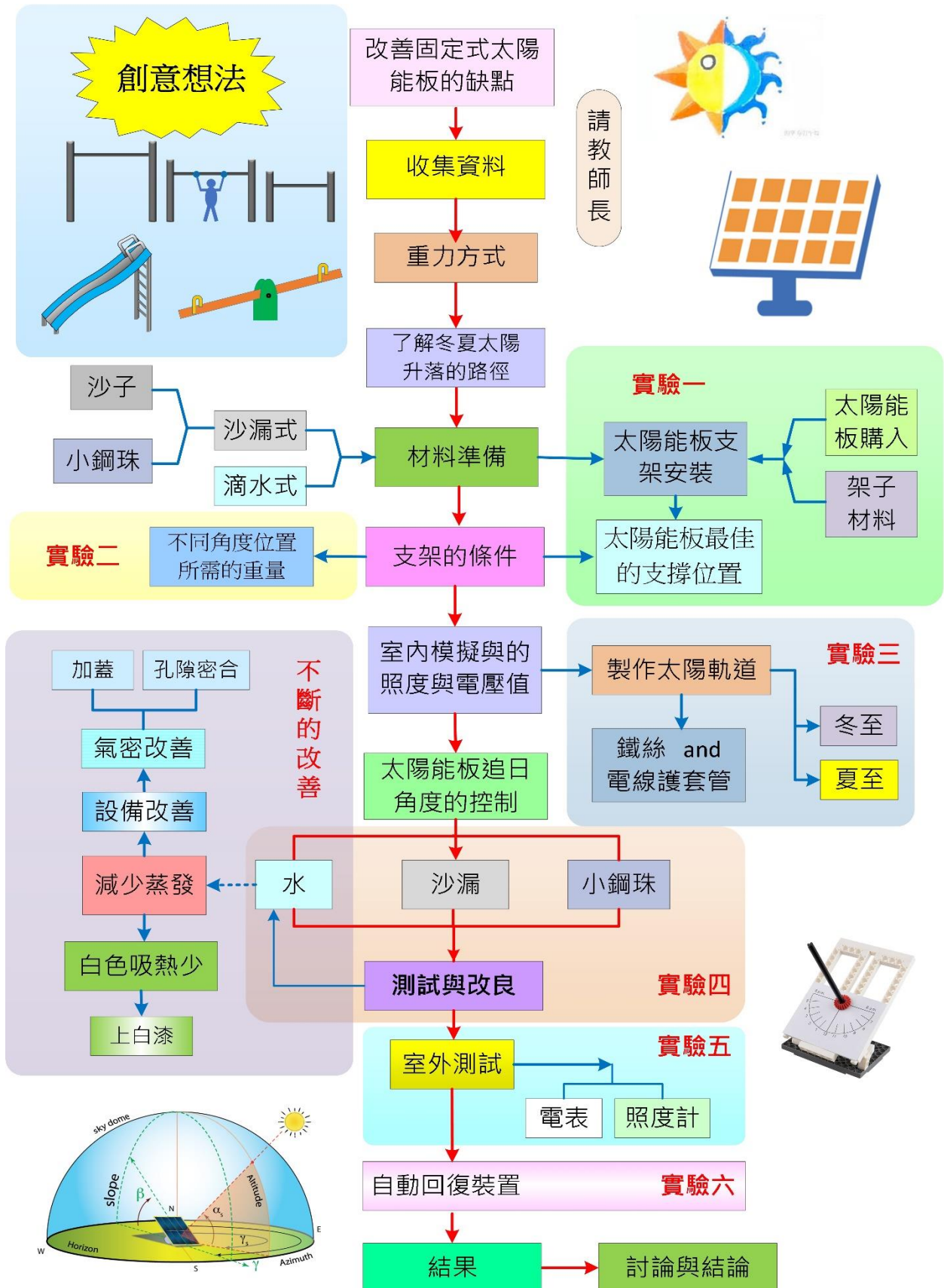


照度計



肆、研究過程及方法

一、實驗流程



二、認識太陽能板

(一)太陽能板種類多樣，以較常見三種比較後，單晶矽來看，轉換電力效率最佳，因此我們選擇【單晶矽】做實驗。

1. 三種晶矽的外觀：



非晶矽太陽能板



單晶矽太陽能板



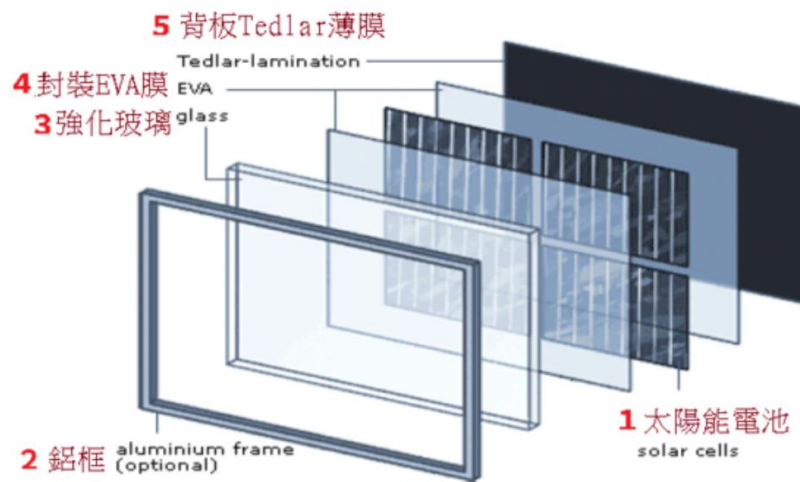
多晶矽太陽能板

參考資料: No.1

2. 三種晶矽的比較

	發電率	材 質	外 觀	用 途	制作成本	優 缺 點
單晶矽	15~24%	矽結晶半導體	角圓弧 表面無紋 有柵線	大面積轉換電如工廠、家庭用電	需比多晶耗工、時 成本較高	礙於角呈圓弧型 大面積時無法達到 最大面積吸收 弱光影響發電 發電量 > 多晶矽
多晶矽	10~17%	矽結晶半導體	角方形 表面有雪花狀紋路 有柵線	同單晶	制作過程比單晶簡易 成本較低	角為方形，大面積 時可達最大吸收 弱光影響發電 發電率 < 單晶矽
非晶矽	8~13%	矽化合物	表面光滑 如鏡	在弱光下也可轉換電能 如計算機	成本最低確 因發電率不高 較不廣泛	厚度低於晶矽類 90%，可制成彎曲 發電量不高

3. 太陽能板的結構

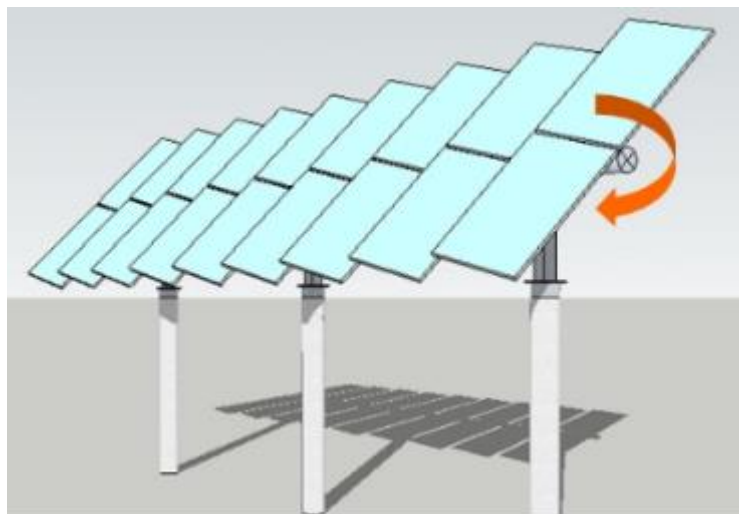


參考資料：No.2

(二)追日系統範例

一般太陽能板是固定朝南傾斜 25° （因台灣在北半球，太陽軌道偏南方，台北位於北迴歸線的北方，所以傾斜為 25° 為最佳角度），固定式面板無法跟著太陽軌道吸收最佳光能，我們查到目前有研發出以下幾種追日方式：

1. 單軸追日系統



參考資料：No.3

2. 原理類似讓太陽能板像翹翹板般由東向西傾斜，但會有南—北向的誤差，使用上雖不精準，但所需制作成本較低。

3. 雙軸式追日系統

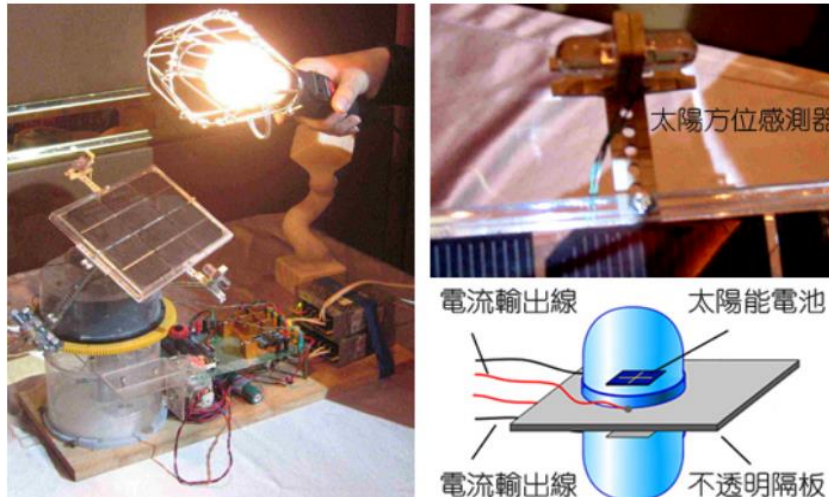
一軸為（東向西）傾斜，一軸與地面垂直傾斜（南—北），優點能與太陽仰角、方位角精準的變化，缺點需要以馬達帶動，會耗損發電能源，且笨重，成本高。



參考資料： No.4

4. 主動式追日系統

利用光感測器，當感測到光時自動判斷太陽位置，驅動馬達進行，使太陽能板跟著光源傾斜。



參考資料： No.5

5. 被動式追日系統

以物理性質帶動太陽能板傾斜，不使用電力或馬達來追日。

(1) 利用太陽能板本身發電兩端電量差，驅動太陽能板傾斜。參考資料：No.6

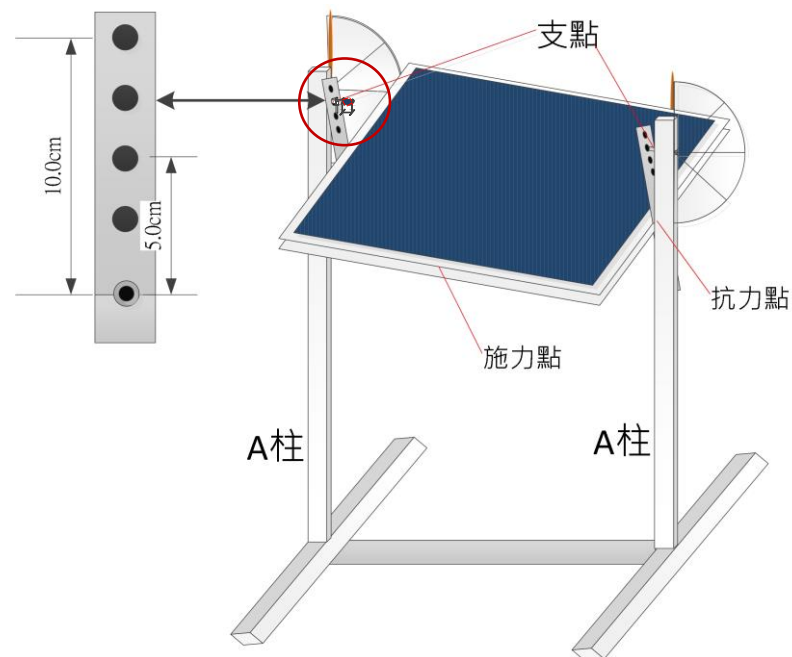
(2) 利用太陽能板兩端輻射熱，較熱的一端內部液體因熱產生氣體膨脹，產生壓力差驅動太陽能板傾斜。參考資料：No.7

經由上列優缺點研究後，本次實驗將以單軸、主動式為目標，達到最經濟及最不消耗電能，以重力方式來制作追日系統。

三、實驗準備

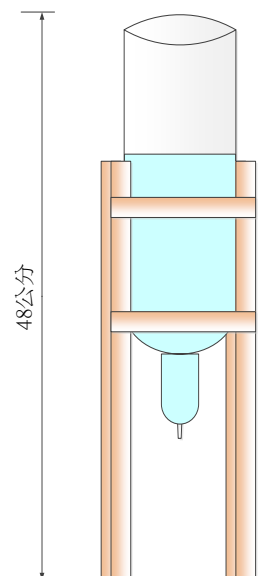
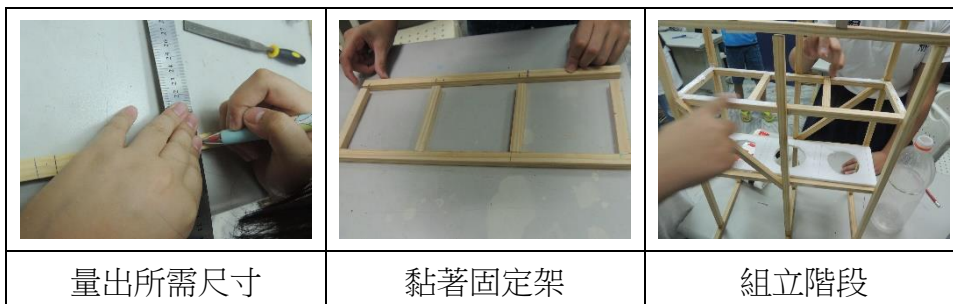
(一)太陽能板旋轉架的製作

1. 測量所購回的太陽能板尺寸為：290×240×18mm。
2. 在太陽能板寬 240mm 中心處固定一隻螺絲，作為中心。
3. 取兩鐵板在其上一側，分別距離中心點 10cm、7.5cm、5.0cm、2.5cm 開孔。
4. 在於兩側 A 柱上以螺釘固定，A 柱上端亦有 4 孔可做高度調整。
5. A 柱下再以木板固定。



(二)水瓶架的製作

1. 取角材木頭鋸成以下尺寸：橫桿 10.0cm×12 根、大橫桿 34.4cm×6 根、高度 40cm×6 根，底部穩定木材：20cm×3 根。
2. 將以上木材以快速膠黏著固定。
3. 將珍珠板切割成 30×8cm 各兩份，上、下方開孔三處，以固定保特瓶。



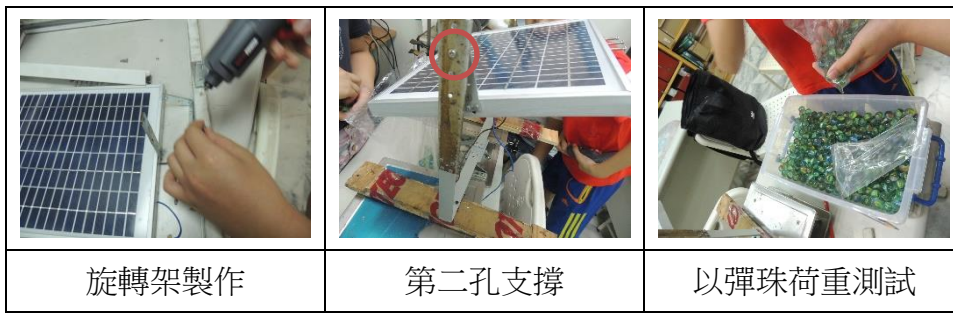
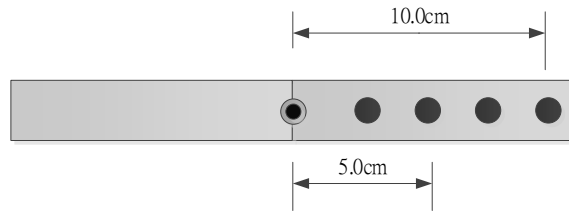
四、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

(一)固定太陽能旋轉架 25.0°，同一角度下，分別量測四個支撐點的荷重量。

(二)測量距離中心點 10.0cm、7.5cm、5.0cm、2.5cm 開孔處。

(三)記錄其彈珠顆數並換算實際重量。

(四)測量每單顆重最接近的 10 顆彈珠總重，換算一顆平均重。

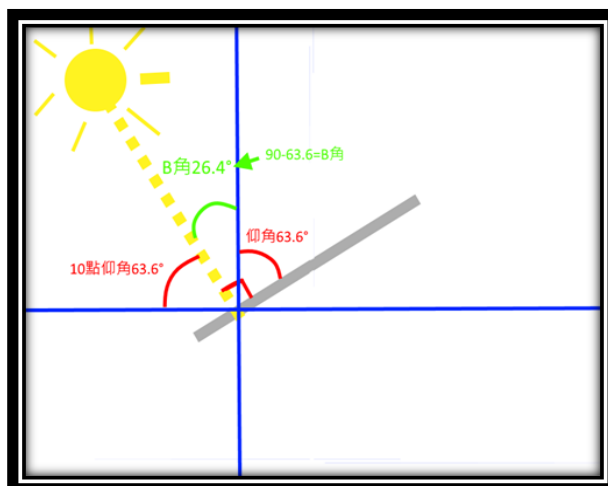


五、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

(一)太陽仰角的確定

1. 以中央氣象局公布台北地區夏至當日的仰角為準。

角度 \ 時間	10	11	12	13	14
仰角(°)	63.6	77.2	88.1	75.3	61.7
B 角(°)	26.4	12.8	1.4	14.7	28.3



2. 依太陽 10:00~14:00 的仰角，以 $90^\circ - \text{太陽仰角} = \text{太陽能板需傾斜角度}$ ，稱 B 角。

(二)測量

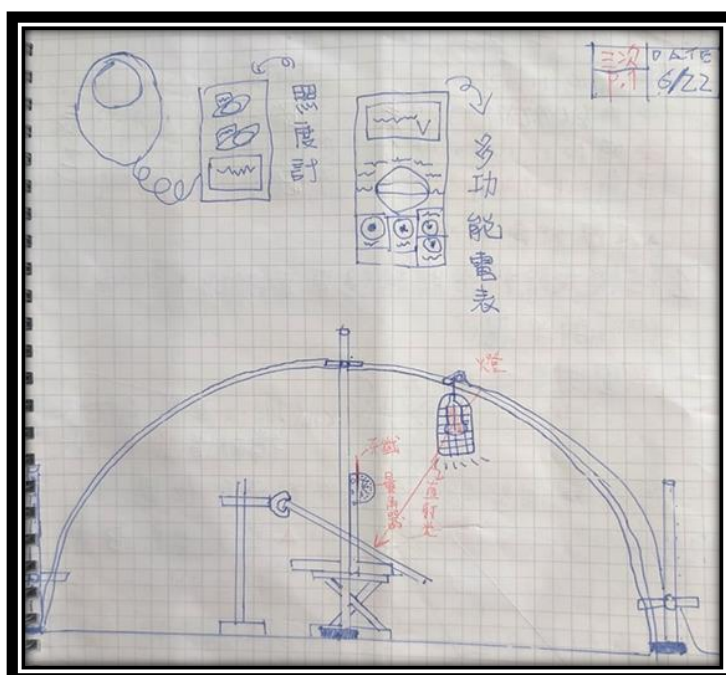
1. 將軸架孔洞鎖至 10cm 距離洞上，勿栓緊，以免無法轉動。
2. 將繩子綁在寶特瓶口上，另一端繩子綁在太陽能板掛勾上。
3. 牙籤跟固定架平行貼上，量角器水平線與軸架平行貼上。
4. 測量 10:00~14:00 每時讓太陽能板傾斜至 B 角度所需彈珠重量。



六、實驗三：在室內模擬測量出台北夏至與冬至 10-14 時太陽仰角的照度和電壓值。

(一)測量的準備

1. 太陽軌道模擬：取鐵絲 350cm 穿入電線保護套管 314cm 內(圓周長的公式是: 直徑 $\times 3.14$)，以使模擬軌道固定，中點處以延長萬用角座支桿固定，兩側也是用萬用角座的鐵夾緊固定，做成半徑為 100cm 的半圓形。
2. 在模擬軌道上標示出夏至與冬至早上 10 點到下午 2 點的仰角位置。

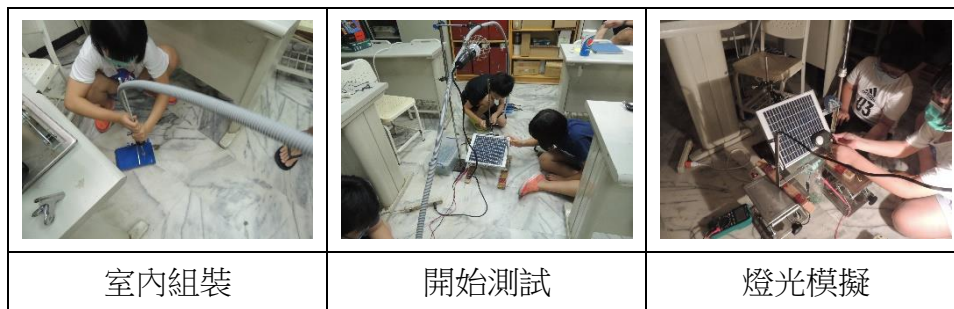


時間	10	11	12	13	14
冬至仰角(°)	34.4	39.9	41.5	38.8	32.5
夏至仰角(°)	63.6	77.2	88.4	88.1	75.3

(表 1) 台北夏至與冬至仰角

(二)開始測量

1. 將太陽能板擺至軌道下，太陽能板傾斜面需與軌道平行。
2. 將太陽能板傾斜於各 B 角，軌道燈也依表 1 各時間太陽仰度數擺放。太陽能板傾斜至各 B 角時，萬用腳座夾子固定。
3. 先以 12:00 的角度開始擺放好太陽能板和燈後，將太陽能板接至多功能電表，紀錄伏特，另將照度計放太陽能板上測量，每次放同一位置。

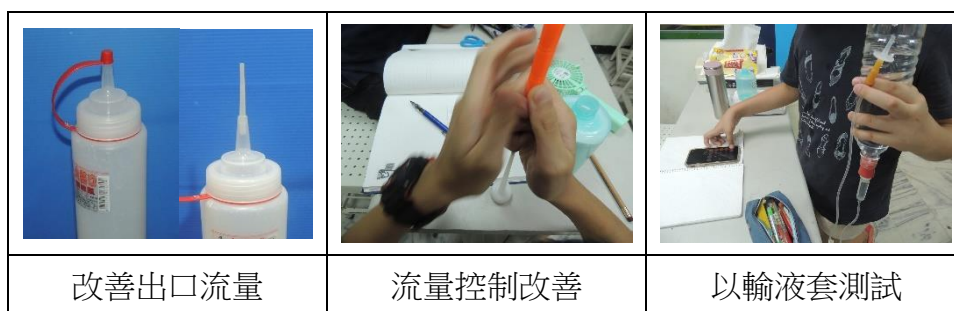


七、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

(一)以水來控制重量

1. 測試三種容器將水流下的狀況與改善的過程

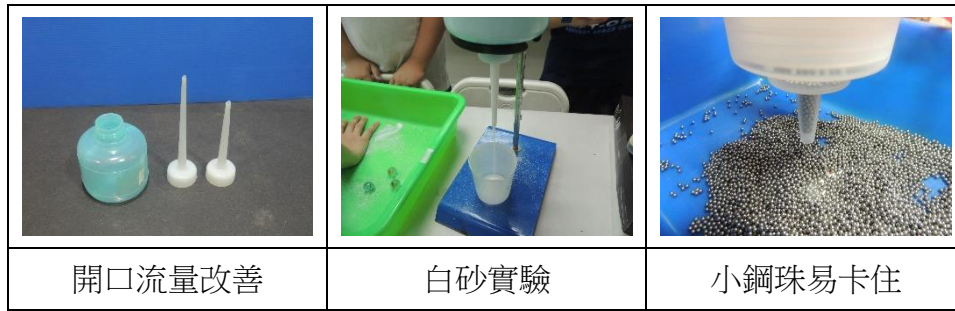
(1) 調味瓶、車用油瓶、輸液套



- A. 先滴 100 滴，拿去秤重，計算出 1 滴的重量。
- B. 估算出每一分鐘需要幾滴才能是 3.56 克(重量差算出平均減少 213.7g/hr)。
- C. 調整滾輪改變流量，再反覆測量重量→調整流速→測量→調整……。

(二)以沙漏來控制重量

1. 測試三種容器將沙子流下的狀況與改善的過程



(三)以小鋼珠來控制重量(上右圖)

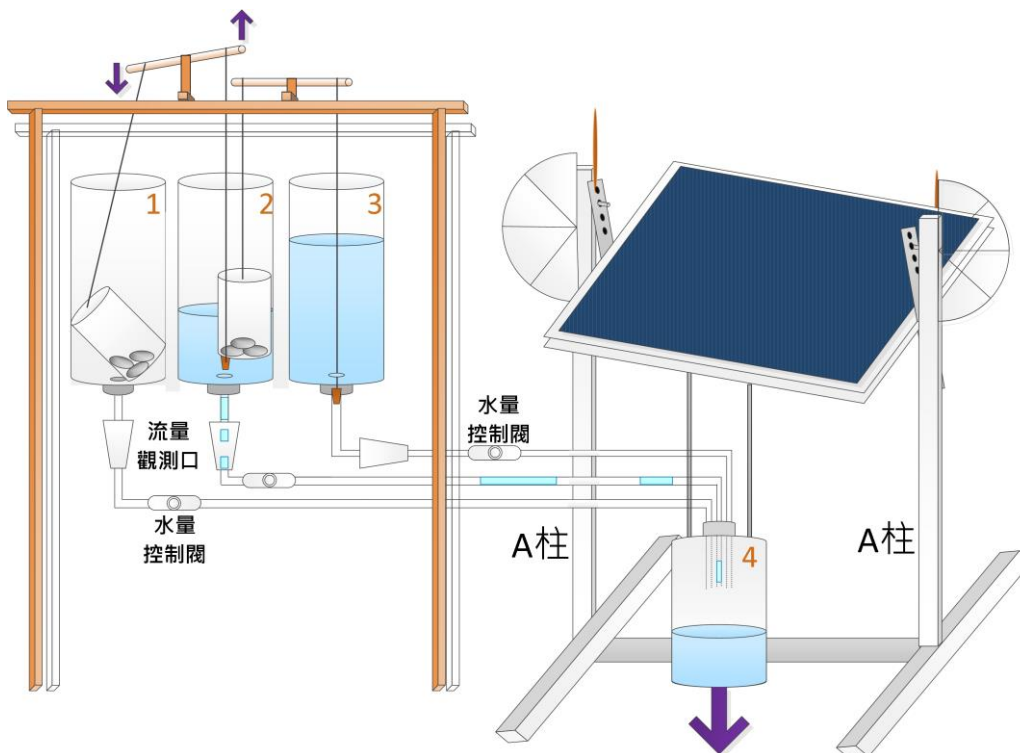
1. 測試三種容器將小鋼珠流下的狀況與改善的過程

八、實驗五：實測 10-14 時戶外的電壓與照度值。

(一)日照時間與太陽能板重量的關係

1. 室內模擬夏至當日 10:00~14:00 每小時太陽的仰角與重量的關係
2. 計算 9 月 8 日測量當日仰角與水重量的關係

(二)排水方式的改良



1. 功能說明：因為由 10：00 到 14：00，五個時段中，各時段的角度與重量繪出圖來。顯示重量並未成一直線方式的減少，須以不同重量來使的太陽能板偏斜角度

與日照的仰角呈直角，故以三個寶特瓶不同的排水量來達到最佳傾斜角。

2. 控制出水量大小與時間

(1) 以輸液套的水量控制閥控制其大小與時間。

(2) 養樂多瓶浮力測試，內裝鉛錘，使重力足夠拉起塞子。以下浮力測量方式：

A. 把不吸水的細繩子穿入養樂多瓶底。

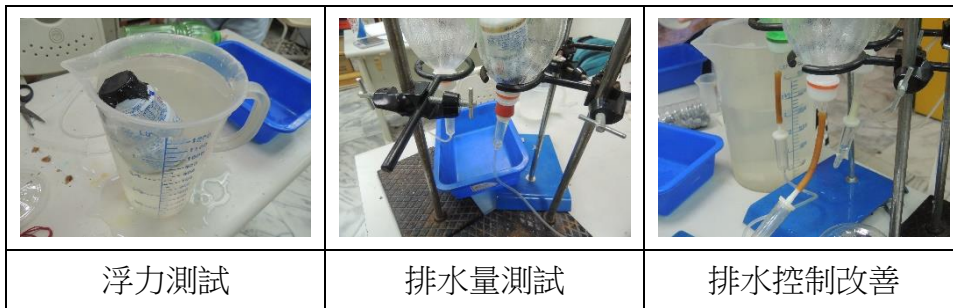
B. 把適量彈珠(後改成鉛錘以縮小體積)放入養樂多瓶，以膠帶完全密封，調整重量能有最大重力能拉起瓶塞，且能浮在水面上。

C. 拿出 3 個大寶特瓶，把寶特瓶的底部切掉，在瓶口裝上矽膠塞。

D. 用繩子把矽膠塞和養樂多瓶連在一起，繩長度須配合水量到下限時，可以提起另一瓶的活塞，啟動水流下。

(3) 塞子材料改善：軟硬適中，遇水不變質、防水、耐高溫。

(4) 每次測量 1 分鐘秤重結果，並調整。改善達到最佳。



(三)實測：本組有製作縮時錄影。



九、實驗六：自動回復原位置

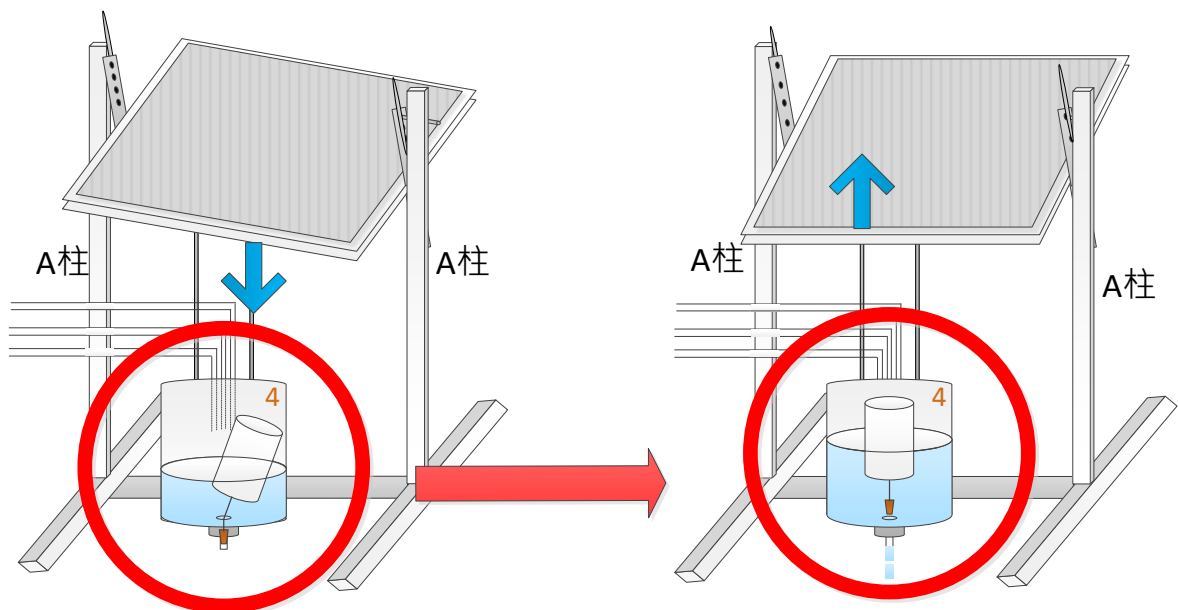
(一)目的：使追日後朝向西邊的太陽能板能以重力方式回復到原上午的位置。

(二)作法：以浮球控制集水桶內的水位達固定高度時，浮球上升將集水桶的止水器上拉，使水排出，當重量逐漸減少，則使太陽能板偏西側的向下重力，亦會逐漸減少，最終會自動回復至原上午位置。

1. 器材：漆包線、鑽子、橡皮塞、塞子、寶特瓶(2000 毫升)、水盆、美工刀。
2. 調整太陽能板水平位置：利用兩側的三根固定螺絲，在水平的桌面上，以水平儀，調整至水平的角度位置。
3. 水位與繩長實測：將 900、1000、1200 毫升水位加至寶特瓶內，測量連同浮瓶在內造成的高度，標示在瓶上，以備在不同水量時可調整正確的繩長。



(三)結構圖與動作說明：

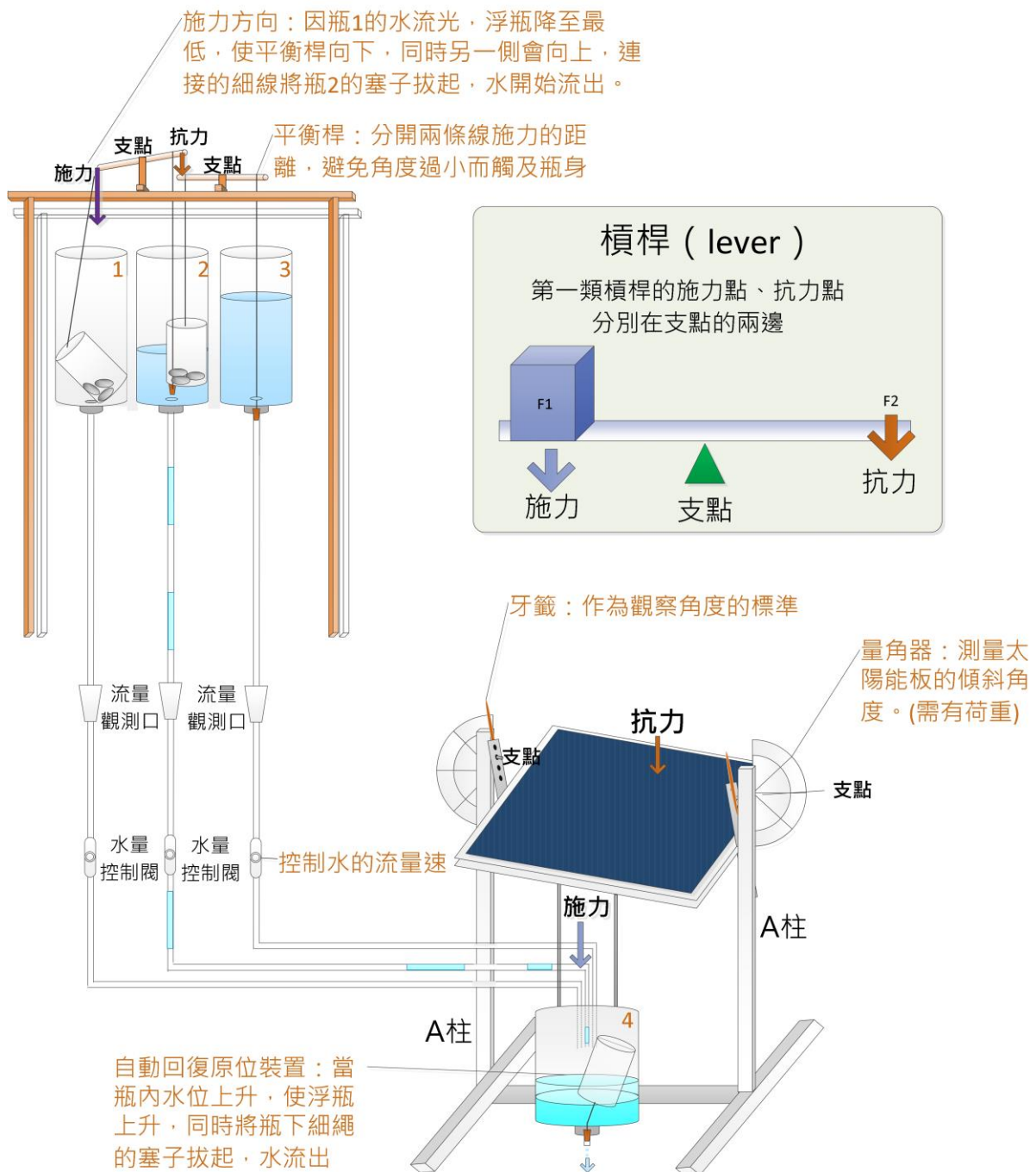


下方排水口堵住，無法排水，水量漸增加，向下施力，太陽能板可進行追日，往前傾斜。

傍晚追日完成，水位讓浮瓶上升，拉開下方塞子，排水口開始排水，太陽能板前端重量減少，會往後傾斜，回復原位置。

伍、研究結果

一、完成的結構圖示：



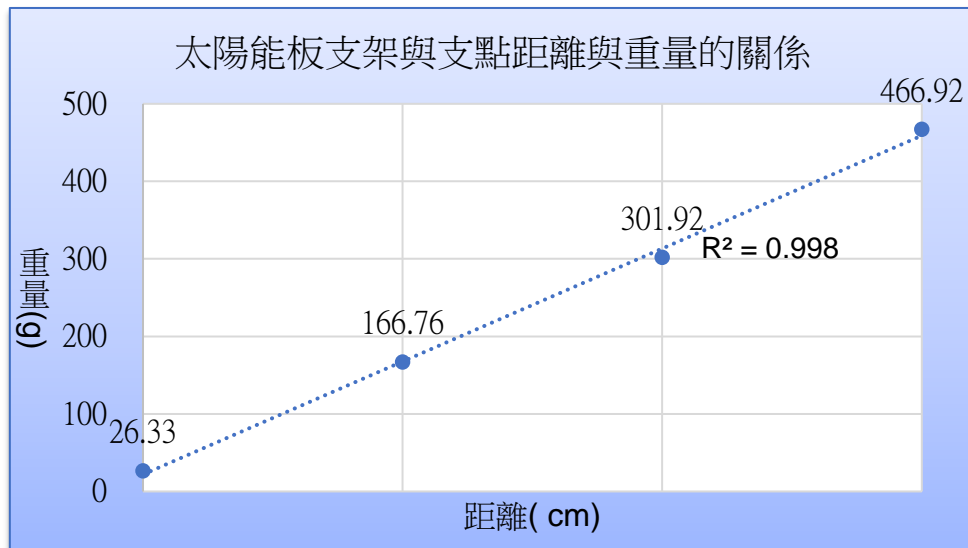
二、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

(一) 太陽能板傾斜 25.0° 各孔距所需重量

實驗設計	控制變因	操縱變因	應變變因/結果
施與重量	彈珠重量 調整重量	力臂長度	距離支點 5.0 公分最佳

次數	一		二		三		平均重量(g)	標準差
	顆數	重量	顆數	重量	顆數	重量		
2.5cm	5	26.33	5	26.33	5	26.33	26.33	0.00
5.0cm	30	157.98	33	173.78	32	168.51	166.76	8.04
7.5cm	57	300.16	57	300.16	58	305.43	301.92	3.04
10.0cm	88	463.41	88	463.41	90	473.94	466.92	6.08

※以 10 顆彈珠一起測量，平均值為 5.26 公克，標準差 0.022



結果：固定旋轉架 25.0°同角度下，以 5.0 公分的支點距離荷重 166.76g 較為適當。

三、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

實驗設計	控制變因	操縱變因	應變變因/結果
施與重量	彈珠重量 調整重量	太陽仰角(°)	重量(g)

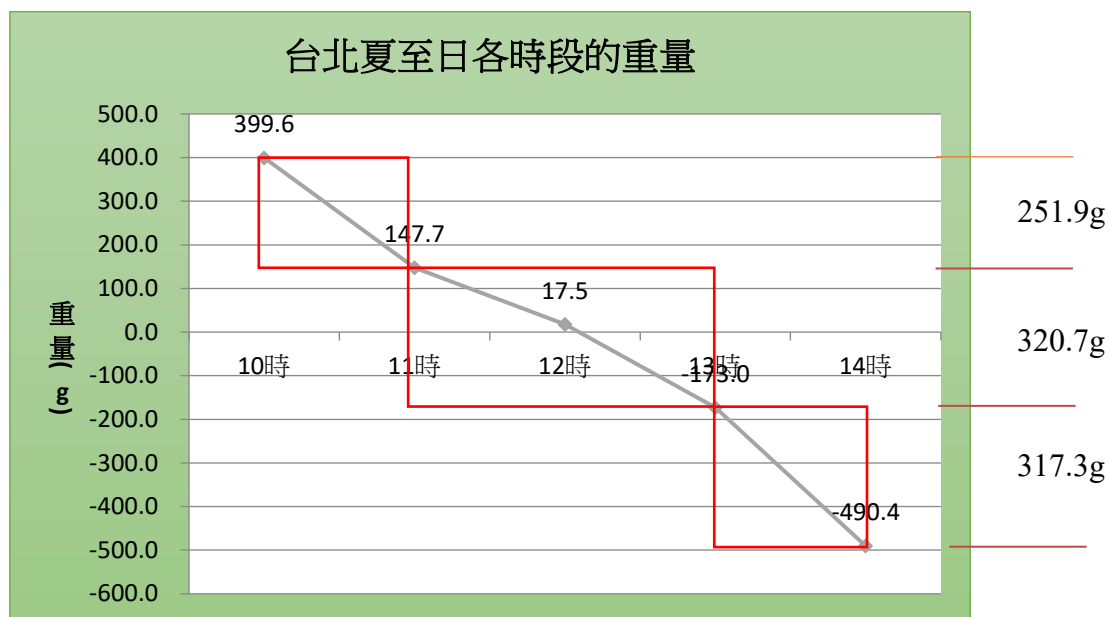
以夏至當日為例製出重量表圖

時間	仰角(°)	實驗平均重量(g)	減少重量(g)
10	東 63.6	399.6	
11	東 77.2	147.7	251.9
12	東 88.1	17.5	130.2
13	西 75.3	-173.0	190.5
14	西 61.7	-490.4	317.3

※在上午 10 點時太陽能板一端角度 63.6°，需有 399.6g 的重量。

※實驗平均重量為二次實驗測量的結果。負號為太陽能板傾斜到西側角度。

依此數據繪出各時段重量數據圖，如下：



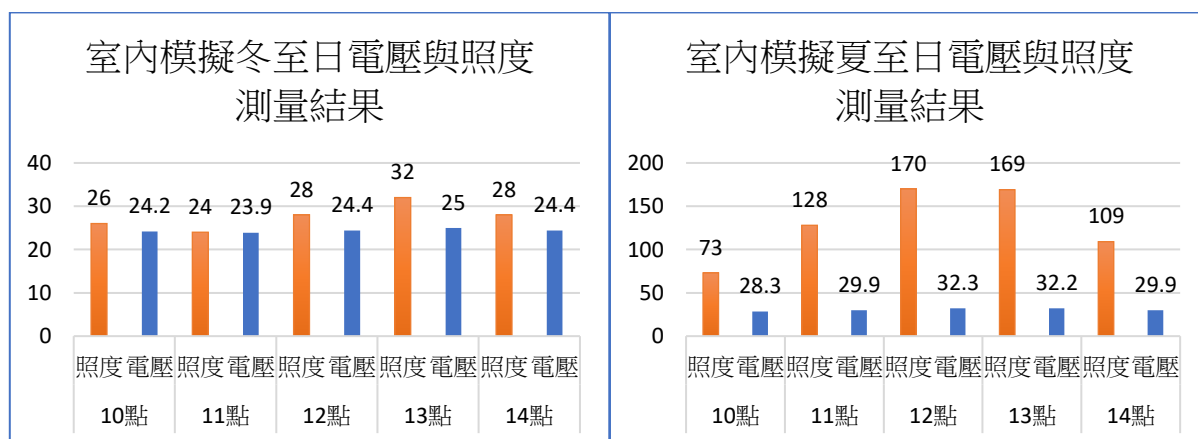
※上圖由 10 時至 11 時減少重量 251.9g，11 時至 13 時二個時段減少 130.2+190.5=320.7g，13 時至 14 時減少 317.3g。以此減少重量可以讓太陽能板更能與太陽仰角相配合。

四、實驗三：在室內模擬測量出台北夏至與冬至 10-14 時太陽仰角的照度和電壓值。

單位：照度 Lux，電壓：V

時間	10 點		11 點		12 點		13 點		14 點	
	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓
冬至	26	24.2	24	23.9	28	24.4	32	25.0	28	24.4
夏至	73	28.3	128	29.9	170	32.3	169	32.2	109	29.9

※冬至日最低電壓 23.9V，最高電壓 25.0；夏至日最低電壓 28.3V，最高電壓 32.3。



結果：由上模擬實驗測量夏至日電壓值較冬至日電壓值為高，夏至日 10 點(28.3V)與 12 點(32.3V)有 4.0V 的差值。而冬至日 11 點(23.9V)與 13 點(25V)有 1.1V 的差值。

四、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

(一)以水來控制重量

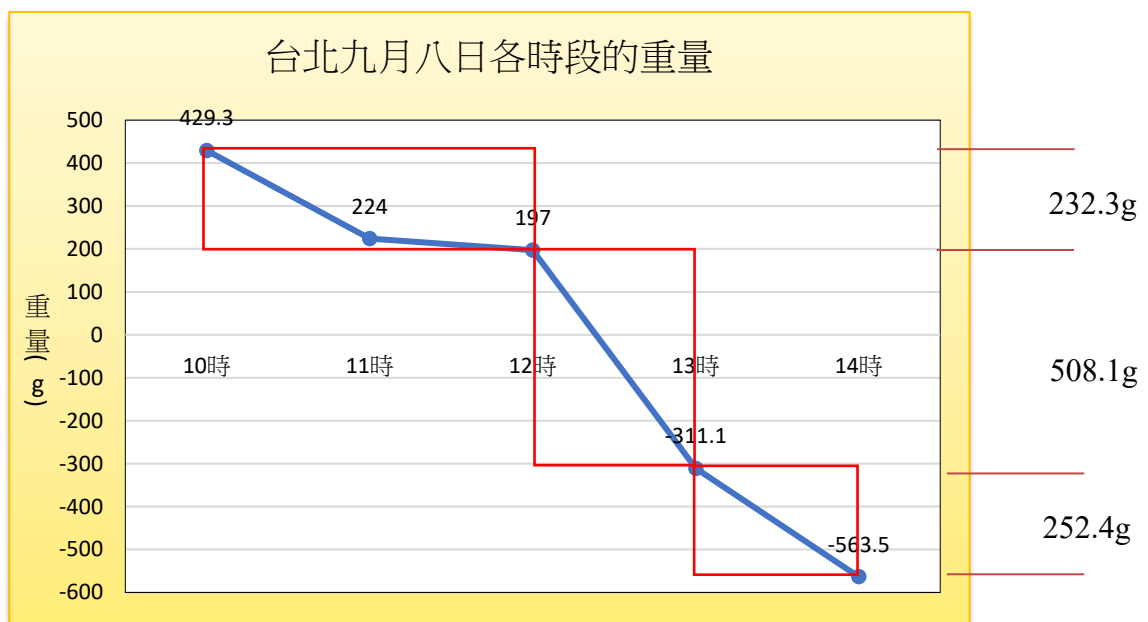
1. 以寶特瓶飲料罐的水量可以有足夠的水量。
2. 瓶口加橡皮塞開小孔，再穿過輸液套塑膠針頭，操作簡易。
3. 輸液套管長 150cm 調整一致為 80.0cm。
4. 實驗結果：控制輸液套的流量為 3.56 公克，測試 47(滴)、52(滴)、54(滴)、53(滴) 成功! 3.50g !

(二)沙漏方式測試：會有停頓現象，推打後會正常一段時間。

(三)小鋼珠測試：雖以 2.0mm 小鋼珠來測試，發現卡在瓶子管口處每次數量約在 4-6 顆，互相堆疊，雖是給予振動也無法下降。

五、實驗五：實測 10-14 時戶外的電壓與照度值。

(一)九月八日實測有追日與固定式對照組的結果(有縮時錄影)



九月八日的太陽仰角與重量的關係

時間	仰角	實驗平均重量	減少重量	各瓶水量	瓶號	所用時間(分)	流量/分	滴數/分
10	東 56.9°	429.3						
11	東 67.0°	224.0	205.3					
12	東 70.7°	197.0	27.0	232.3	1	120	1.9	19.0
13	西 64.9°	-311.1(朝西)	508.1	508.1	2	60	8.5	85.0
14	西 54.0°	-563.5(朝西)	252.4	252.4	3	60	4.2	42.0

七、實驗六：自動回復原位：

1. 室內改善測試結果：正常，測量水量與浮筒線長度關係，如下表。若因季節改變可依所需水量算出浮筒線長距離，使浮筒可拔起塞子。

水量	線長
900 毫升	9.0cm
1000 毫升	10.0cm
1200 毫升	12.0cm

2. 測試九月八日的重量為 992.8 公克，繩長為 9.9 公分；為確保浮瓶會拉上塞子，第三瓶水量 252.4 多加 10 毫升的水。

陸、討論

一、實驗失敗與改善過程：

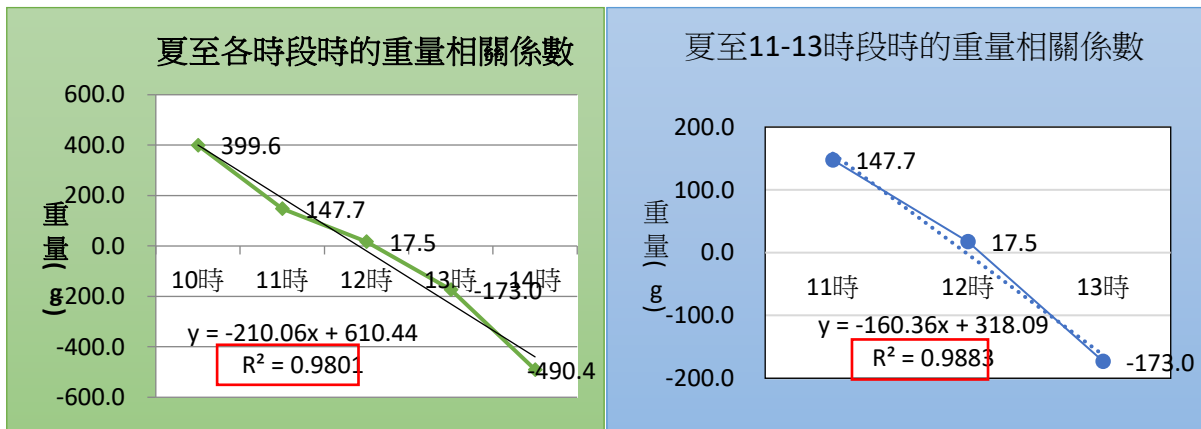
改善項目	失敗原因	改善結果
浮瓶	棉繩吸水荷重後，長度會加長，無法在一定長度拉上塞子排水。	尋找以不吸水無彈性的塑膠繩替代。
	1.以熱熔膠條製作排水塞子遇熱有黏性，無法將塞子拔起。 2.拔起後會因水量降低，熱熔膠條會漂移堵住排水口。	改以耐熱矽膠製的塞子，密度大於 1.25g/cm^3 ，不會漂移。
	浮瓶內控制控重量採用彈珠、小石子，因重量不足，拉不動排水塞子，將瓶身加大後，置入寶特瓶內後容易卡到。	彈珠改用釣魚用鉛錘，其重量可將排水塞子拉起，排水順利。
	排水後，浮瓶降下拉動另一邊的瓶塞，會卡到瓶身邊緣。	利用槓桿原理將的兩端細繩繫於木桿上，使繫繩垂直向下，不會接觸瓶身。
排水孔	以縫紉機加油瓶、餐飲作料瓶子測試後，瓶子太小、排水口長度過長，水量大小難易控制。	採用 1.5 毫升離心管，下方以美工刀切除至適當口徑，確認排水順暢。
蒸發	在陽光下異於蒸發，影響水重量的準確程度	1.加裝活動瓶蓋，不影響槓桿作用的細繩。
		2.將保特瓶身，噴上白漆，減少蒸發。(參考資料 11)

二、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

一開始的想法很簡單，將太陽能板秤重後，在中心處畫線即可，但事實卻不是這樣，太陽能板包覆在裡面的零件配置方式，造成中心線處為支點時，會偏測約 22.0 公克，為克服此問題，在另一測加重 22.0 公克。在 10.cm 處雖可以有較大的區別重量，但若是在實驗時間由 08：00 開始到 16：00，預估則要有 1000 公克以上的重量牽引，才能達實驗所需角度，所以我們決定 5.0cm 處，作為支點。

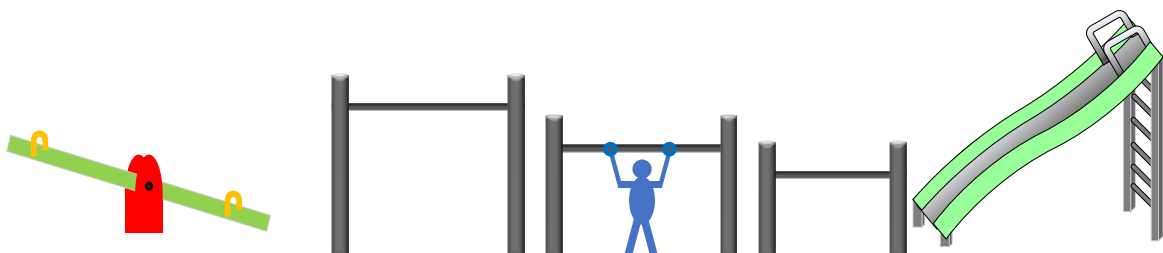
三、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

實驗後，我們繪出圖形發現，在中午時段因為角度改變小，造成重量也是變化較小，如此會與早晨 08：00-10：00 與下午 14：00-16：00 時段的較大的重量，差異更大，若以 10：00-14：00 與 11：00-13：00 相關係數有差異，若將此處分成三段，10 時至 11 時是直線，11 時至 13 時是相關係數 0.9883 的折線，13 時至 14 時是直線，可提高其相關係數為 $(1+0.9883*2+1)/4=0.9942$ ，有提高發電效率。

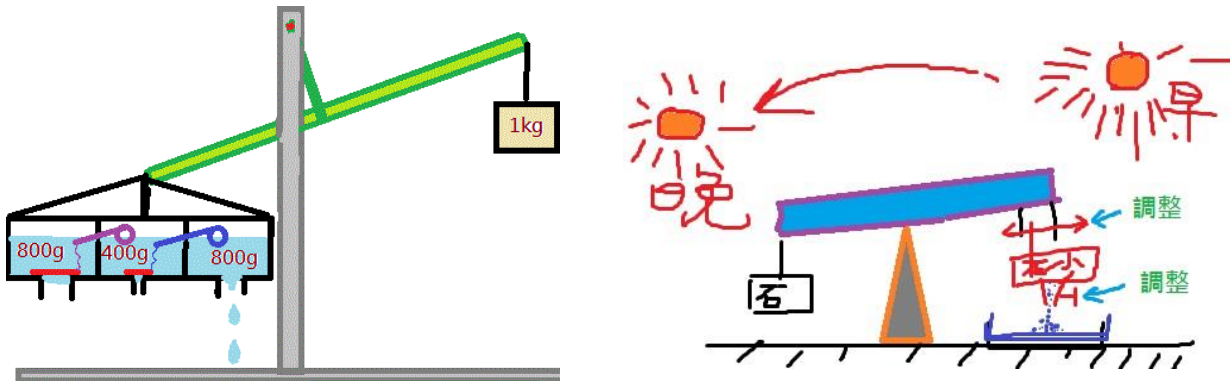


由上圖 10：10 至 14：00 因為不同角度對影響重量，無法成呈一直線。

為改善此問題，我們著手想以不同的'量來控制角度(下圖)，在不能使用電力來控制的條件下，嘗試許多方式後，有一天，看到公園裡翹翹板旁邊的溜滑梯與單槓，有人在單槓做上下的鍛鍊運動，有一種影像念頭，於是想到三個時段，用三個寶特瓶的不同水流量來控制。



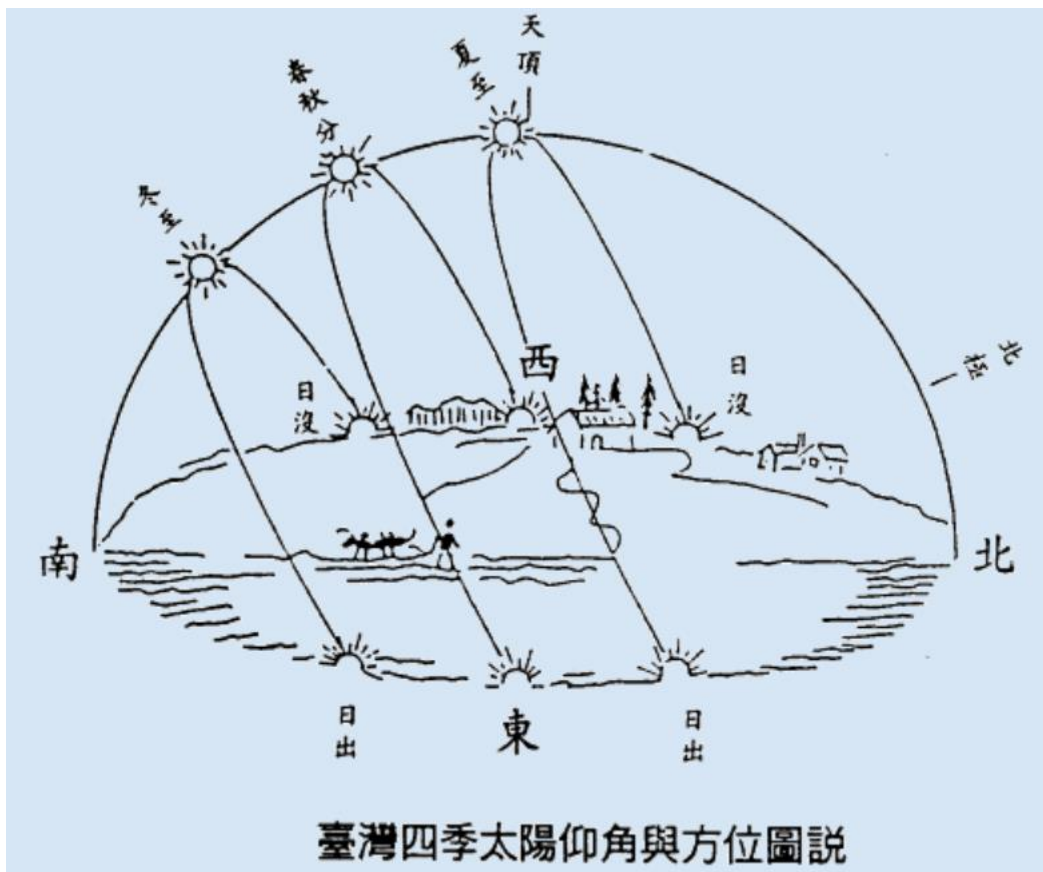
期間我們也想了以下的方法：



提出各種太陽能板無電力追日方式均為可行方式，但都有要改善。

四、實驗三：模擬測量出室內在台北夏至與冬至 10-14 時太陽仰角的照度和電壓值。

在室內中模擬夏至日電壓值較冬至日電壓值為高，夏至日 10 點與 12 點有 4.0V 的差值。而冬至日電壓差值最高 1.1V 為 11 時與 13 時的測量。冬季差異不大，主因是太陽角所造成，依照天體模型，台灣冬季角度偏斜，無法有夏天時的垂直照射，太陽能板在冬季時的發電是有限能力的。無電力追日對於較接近赤道的熱帶國家，是可以有相當的幫助。



參考資料：No.8

五、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

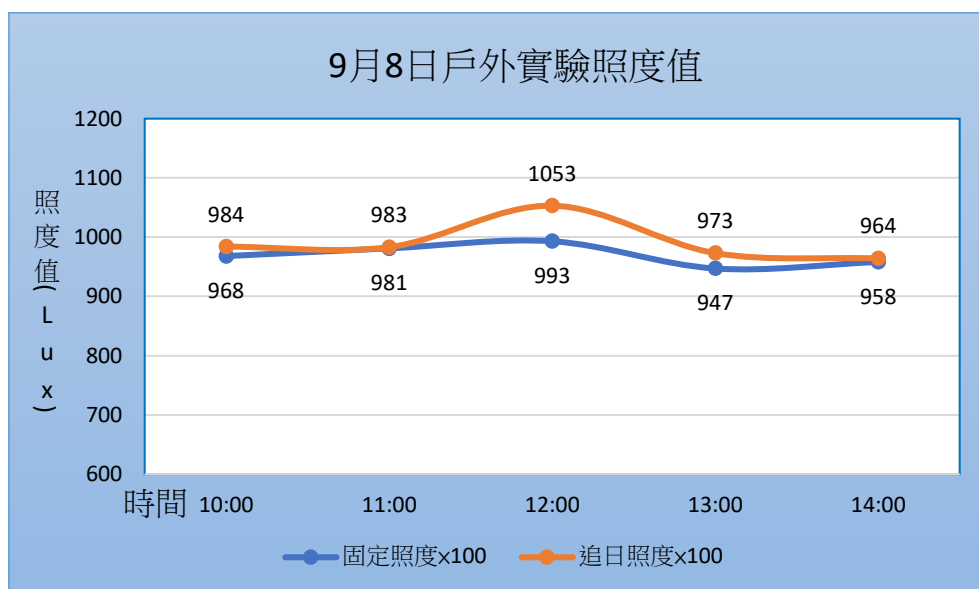
水還是最容易控制的，取之不盡用之不竭，唯要克服是蒸發的問題；沙漏的沙子顆粒要相當一致，原用砂子直徑是 0.2mm，我們嘗試用 200 目的篩網過濾取得細砂，乾燥細沙感覺像流水一般的滑下，已較不會堵塞，但是我們考慮這實用與普及性，所以也放棄了；對於小鋼珠，若是一顆顆流出來，使其不會堵塞，但流出數量是來不及來調整太陽能板角度。

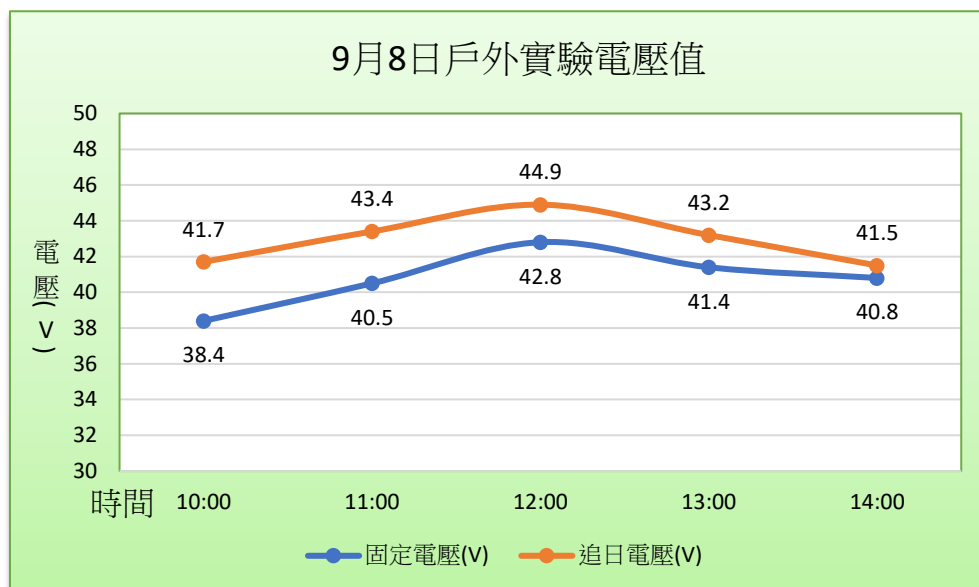
六、實驗五：實測 10-14 時戶外的電壓與照度值。

(一)戶外實驗我們同時也做了固定式的對照組，測得照度與電壓值：

我們實驗由五月開始一直做到完成已是九月初，時序已是秋天，距離秋分 9/23 已近，追日與固定式的照度值是非常的接近。

	對照組	實驗組		對照組	實驗組
時間	固定照度×100	追日照度×100	時間	固定電壓(V)	追日電壓(V)
10:00	968	984	10:00	38.4	41.7
11:00	981	983	11:00	40.5	43.4
12:00	993	1053	12:00	42.8	44.9
13:00	947	973	13:00	41.4	43.2
14:00	958	964	14:00	40.8	41.5



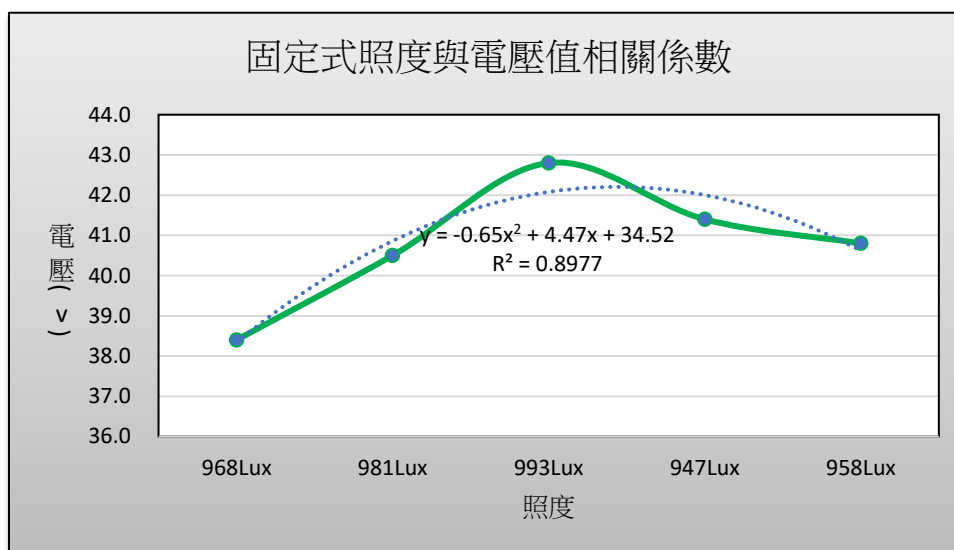


比較兩者發電量，追日式較固定式為高。

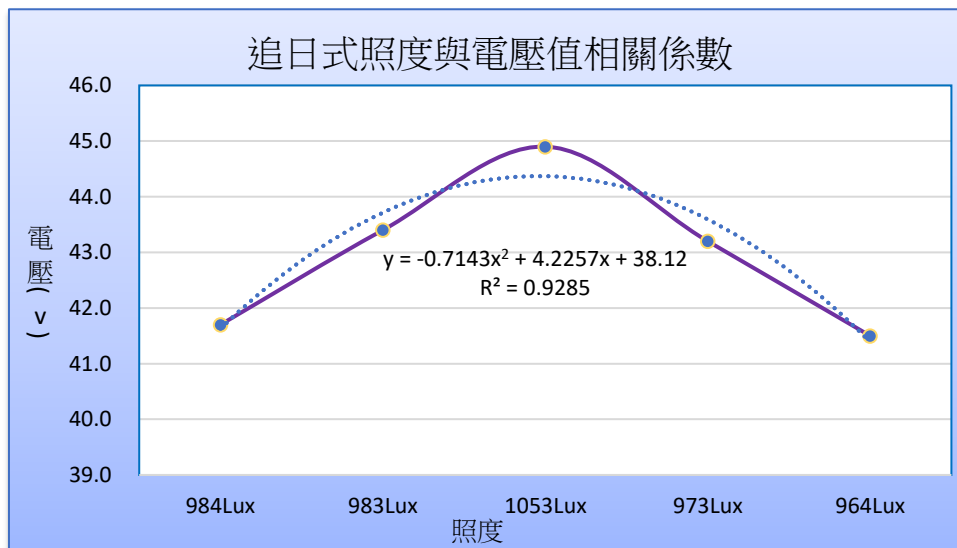
(二)追日式與固定式的照度值和電值的相關係數

時間	固定照度 X100	固定電壓(V)
10:00	968	38.4
11:00	981	40.5
12:00	993	42.8
13:00	947	41.4
14:00	958	40.8

時間	追日照度 X100	追日電壓(V)
10:00	984	41.7
11:00	983	43.4
12:00	1053	44.9
13:00	973	43.2
14:00	964	41.5



固定式的照度與電壓值的相關係數 0.8977



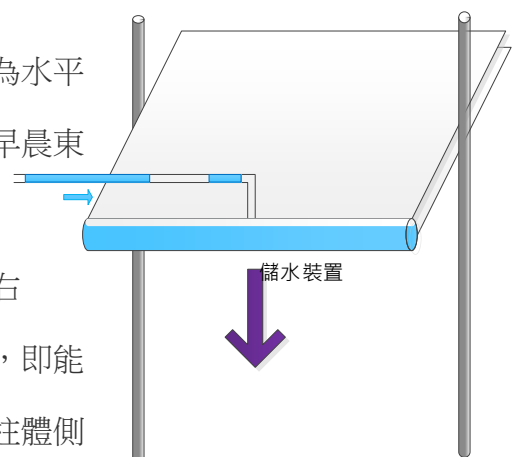
1. 追日式的照度與電壓值的相關係數 0.9285，固定式的照度與電壓值的相關係數 0.8977，顯示追日後照度值增加，有利發電電壓的提高。
2. 追日式五次平均電壓值 42.94V，固定式為 40.78V，提電壓值%有 $(42.94 - 40.78) / 40.78 = 5.3\%$ ，以上可知：追日式的太陽能板的效率較固定式為佳。

(三)測量電壓的理由：

發電量是指發電機組可以產生的電量，功率(P)的單位是瓦特(Watt)，1 瓦特相等於 1 焦耳/秒 (J/s)， $W = V \times A$ 即 1 伏特(V)乘以 1 安培(A)，所以電壓 V 與瓦特 Watt 成正比，電壓越大功率越大。

七、實驗六：自動回復原位置

太陽能板回復原位置，經討論後有兩處，分別為水平位置與早晨東向的位置目前完成部份，若要回復到早晨東向的位置，相對東側的重量就要較為重，考慮日後以集水瓶內的水製作具清洗太陽能板的規劃，如右圖，西側以圓柱體集水後，東側再施以兩倍的重量，即能回復。回復至早晨位置，以重力方式開啟集水的圓柱體側邊，將水釋出，即可清洗太陽能板表面。



八、影響蒸發的因素：我們知道影響蒸發的因素主要有溫、濕度、溶液表面積與周圍空氣流動的等因素，我們將水瓶子噴上白色漆，同時也加上蓋子，以減少水的蒸發。

柒、結論

一、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

實驗結果：以距離支撐點 5.0 公分為最佳的位置，使負荷重在 1000 公克以內。

二、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。 ※台北夏至仰角與太陽能板荷重表

時間	10 點	11 點	12 點	13 點	14 點
仰角	東 63.6	東 77.2	東 88.1	西 75.3	西 61.7
實驗平均重量	399.6	147.7	17.5	-173	-490.4

本組組裝太陽能板的追日方式以重力方式控制是可行的。

三、實驗三：模擬測量出室內在台北夏至與冬至 10-14 時太陽仰角的照度和電壓值。

時間	10 點		11 點		12 點		13 點		14 點	
	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓
冬至	26	24.2	24	23.9	28	24.4	32	25.0	28	24.4
夏至	73	28.3	128	29.9	170	32.3	169	32.2	109	29.9

在室內模擬出冬至日與夏至日的照度和電壓值，確認是可在戶外實驗。

四、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

實驗後以水作為重力來源，控制方式使用醫院用的輸液套來控制水的流量。

五、實驗五：實測 10-14 時戶外的電壓與照度值。

我們在 9/8 日戶外實驗後，發現有追日的太陽能板效率較固定式為高 5.3%。

六、實驗六：自動回復原位置

當水量足以使浮瓶下細繩拉開塞子，水即排出，西向端重量逐漸減輕，太陽能板回復原來上午位置。

未來展望

無電力的追日方式，可以省卻追日系統設備的購置、保養……等費用，未來我們會繼續改善：1. 利用每日的”用水”增設能清洗太陽能板的裝置，以提高太陽能板的效率。

2. 使用大數據方式，收集世界各地的日出入落時間與角度，將太陽能有效率的利用，並利用自動控制排水量，符合環境保護與節約能源的考量。

捌、參考資料

1. 健行科技大學-Nov,of Theoretical and Applied Mechanic P.19 各種太陽能板的介紹
(無日期) 取自：<https://slidesplayer.com/slide/12410758/>
2. 最時尚的智慧型太陽能發電廠－太陽能發電的簡介、使用與保養-太陽能板結構示意圖---2019/10/12 取自：<http://blog.udn.com/escos/18089317>
3. 單軸追日系統(圖片) /綠源科技-太陽能追日系統首選 (無日期)
取自：<http://www.green-source.com.tw/tw/satrackers>
4. 雙軸追日圖 iPv Tracker ---H-Bean Base (無日期)
取自：<http://www.ipvtracker.com/products.html>
5. 科學人雜誌－聚光又追日 提升太陽能電池功率 (無日期)
取自：<https://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=easylearn&id=1590>
6. 孫意涵;謝佳岑;閔子庭;楊宇翔(2016)：真的全自動-全球免設定日光追蹤系統！
第 56 屆全國中小學科展作品。取自：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=61&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=9&sid=13307>
7. 崧銓科技(無日期) 無需電力太陽能追日系統
取自：http://www.cnjt.com.tw/product_show.asp?seq=21
8. 台灣的日照及風向－台灣四季太陽仰角與方位圖－2019/07/27
取自：<https://deeocean101.pixnet.net/blog/post/163021593>
9. 交通部中央氣象局(無日期)。台灣四季仰角與方位角
取自：<https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/astronomy/cdata/season.htm>
10. 喬薇、簡毓萱(2014)：雙軸控制太陽位置追蹤器之研製。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會。
11. 朱佳仁、陳建翰、李勝雄、劉日順(2014)：A 型蒸發皿顏色對蒸發量之影響
氣象學報第 51 卷第 1 期。

【評語】 082920

本研究探討以無電力方式作太陽能板追日的可行性，結合自然課所學太陽光照角度，並運用多段排水的水重和槓桿原理來調節太陽板，構思巧妙富創意，但重力之精準穩定調控和附屬設施之配置是最大的挑戰。整體來看，搭配水循環或是生活廢水，既不影響乾淨用水又能兼具環保。

摘要

目的：利用重力原理改變太陽能板傾斜角度進行動態追日，以提高產電效率。

實驗設計：本研究以節約與廢物利用為主要考量。利用槓桿原理，找出太陽能板最佳的槓桿支撐位置，測試在不同角度所需的重量；室內模擬測量出夏至與冬至10-14時太陽仰角的照度和電壓值；以水做為重力控制改變太陽能板角度，並配合三段排水的方式來校正中午時段的些微角度偏移。以統計方法驗證實驗組與對照組的差異。

結果：戶外實測結果顯示照度值(12 pm, 1053 vs. 993)與電壓值(平均值, 42.94 vs. 40.78)，再計算相關係數為高度相關，發現追日組均優於固定組。

結論：本追日系統創新地以重力調整不同時間太陽能板的傾斜角度，並能使太陽能板自動回復至初始位置，此裝置能成功有效提升太陽能發電效率。

壹、研究動機

在學校的屋頂上看到太陽能板都是固定不動的角度，常想如果太陽在太陽能板的另一側，那不是沒完全吸收到能量很可惜嗎？於是假如可以製造出跟著太陽方位變換角度的太陽能板裝置，而且是不需消耗任何電力的話，不就可以減少消耗又可讓太陽能板吸收到最大能量了嗎？本實驗參考課程相關部分：請參考科展說明書。

貳、研究目的

本實驗研究目的：

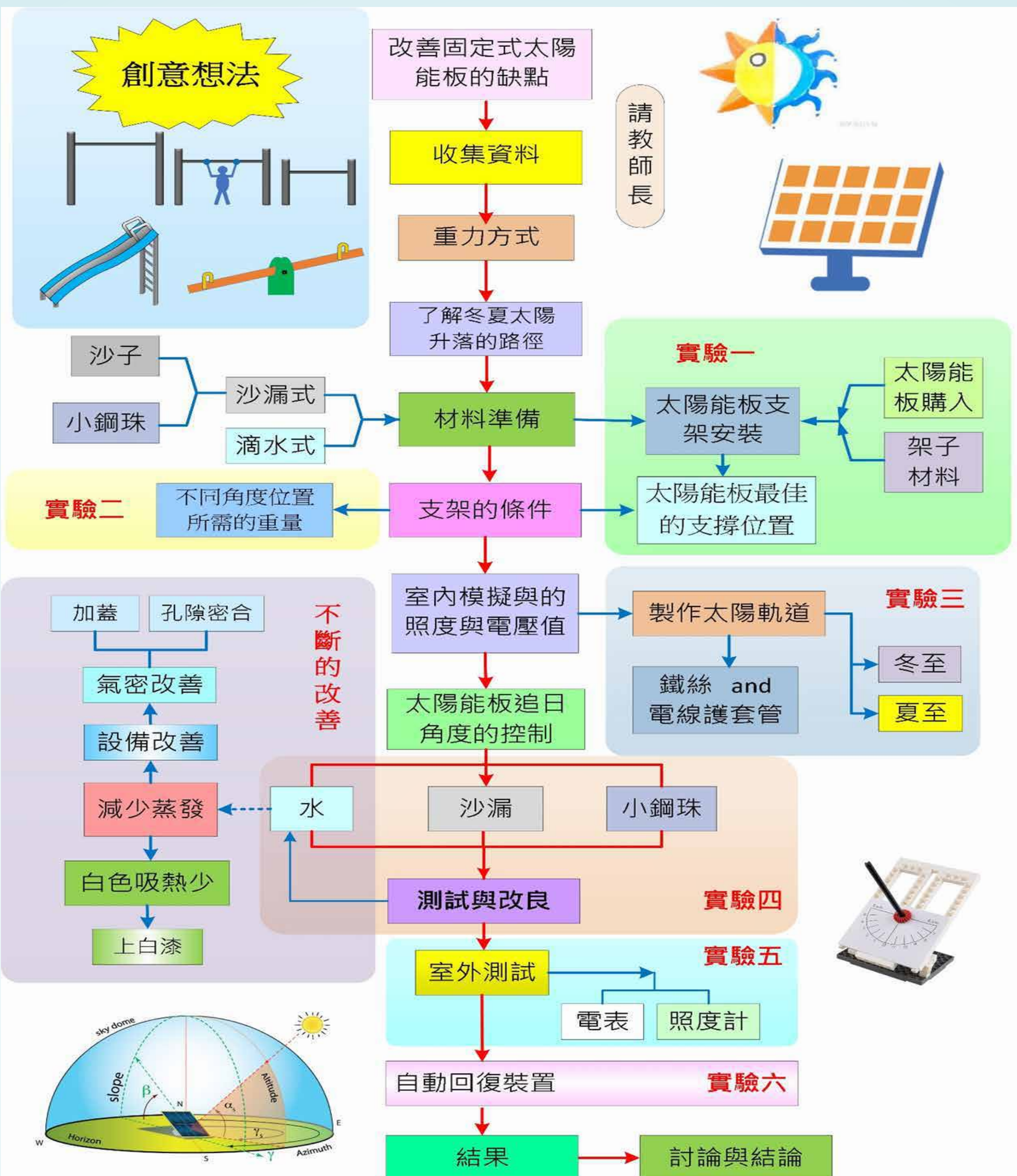
1. 實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。
2. 實驗二：找出不同角度位置所需的重量。
3. 實驗三：在室內模擬測量出夏至與冬至10-14時太陽仰角的照度和電壓。
4. 實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。
5. 實驗五：實測10-14時戶外的電壓與照度值。
6. 實驗六：自動回復原位置。

參、研究設備與器材

請參考科展說明書

肆、研究過程及方法

一、實驗流程圖

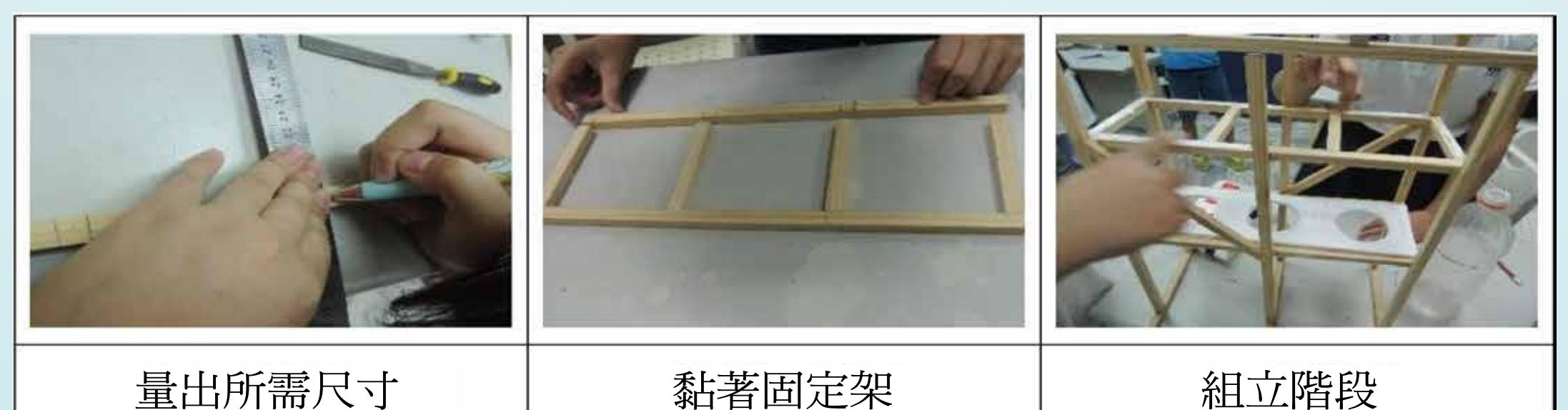
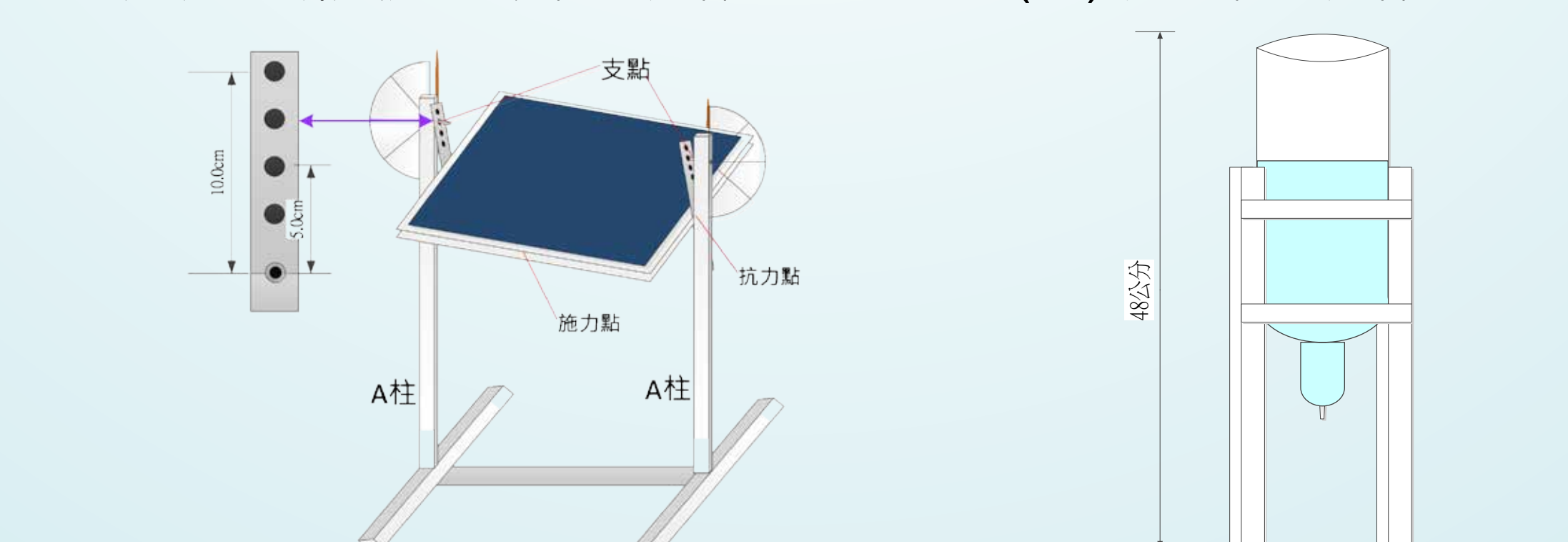


二、認識太陽能板：請參考科展說明書。

三、實驗準備

(一) 太陽能板旋轉架的製作

(二) 水瓶架的製作



四、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

(一) 量測四個支撐點，距中心 10.0 cm、7.5 cm、5.0 cm、2.5 cm 的荷重。

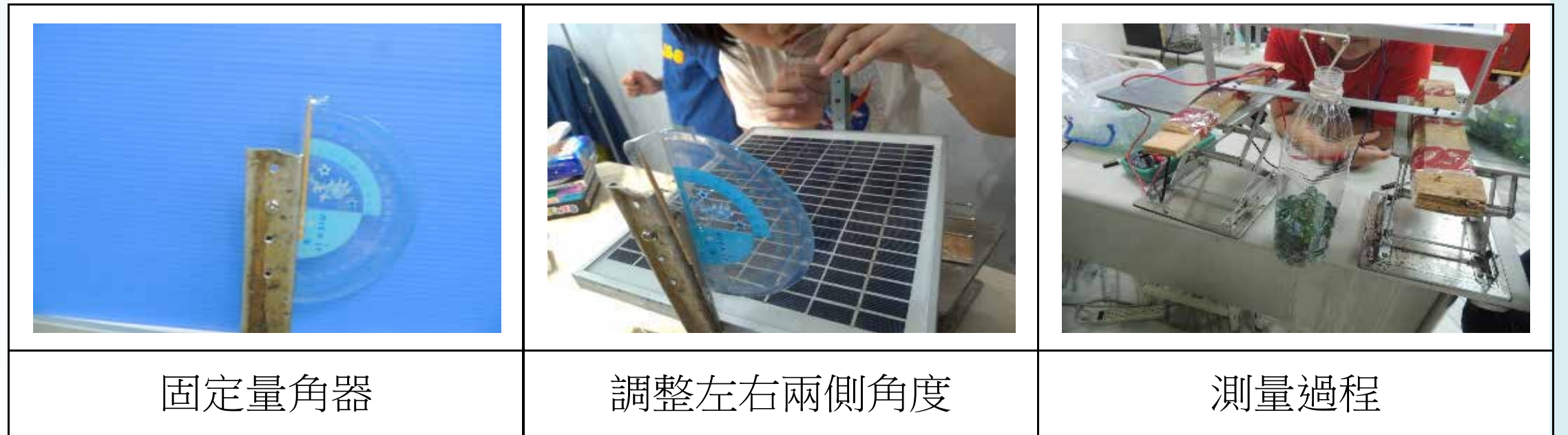
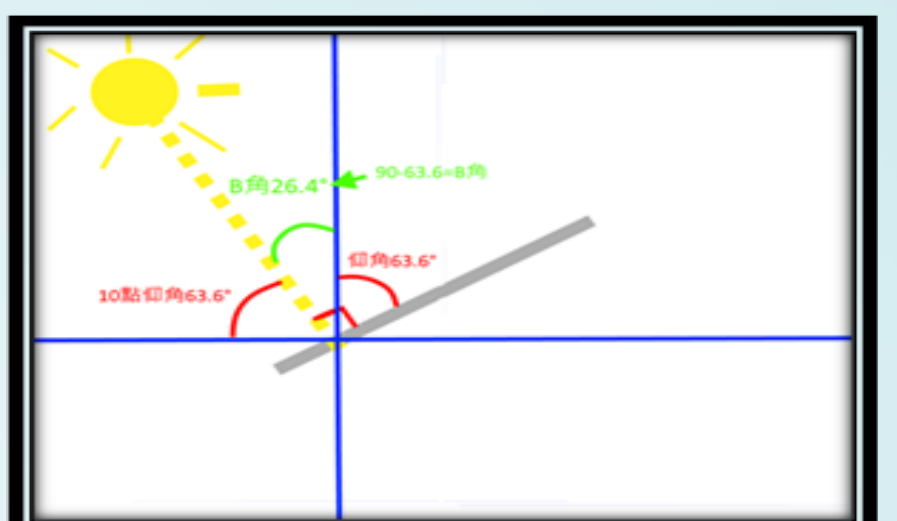


五、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

(一) 太陽仰角的確定

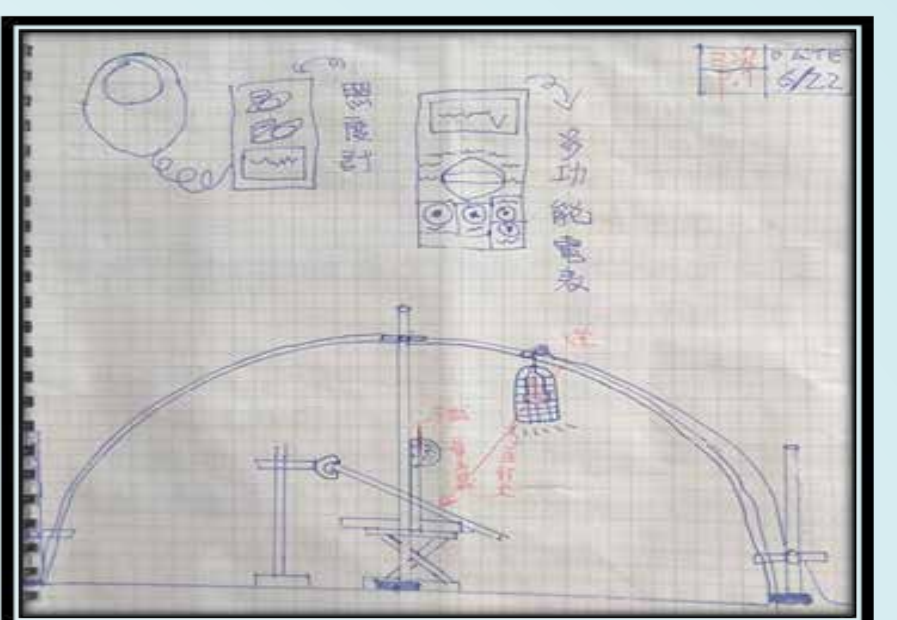
1. 量測四個支撐點，距中心 10.0 cm、7.5 cm、5.0 cm、2.5 cm 的荷重。

角度	時間	10時	11時	12時	13時	14時
仰角(度)		63.6	77.2	88.1	75.3	61.7
B角(度)		26.4	12.8	1.9	14.7	28.3



六、實驗三：在室內模擬測量出夏至與冬至10-14時太陽仰角的照度和電壓值。

時間	10時	11時	12時	13時	14時
冬至仰角(度)	34.4	39.9	41.5	38.8	32.5
夏至仰角(度)	63.6	77.2	88.1	75.3	61.7

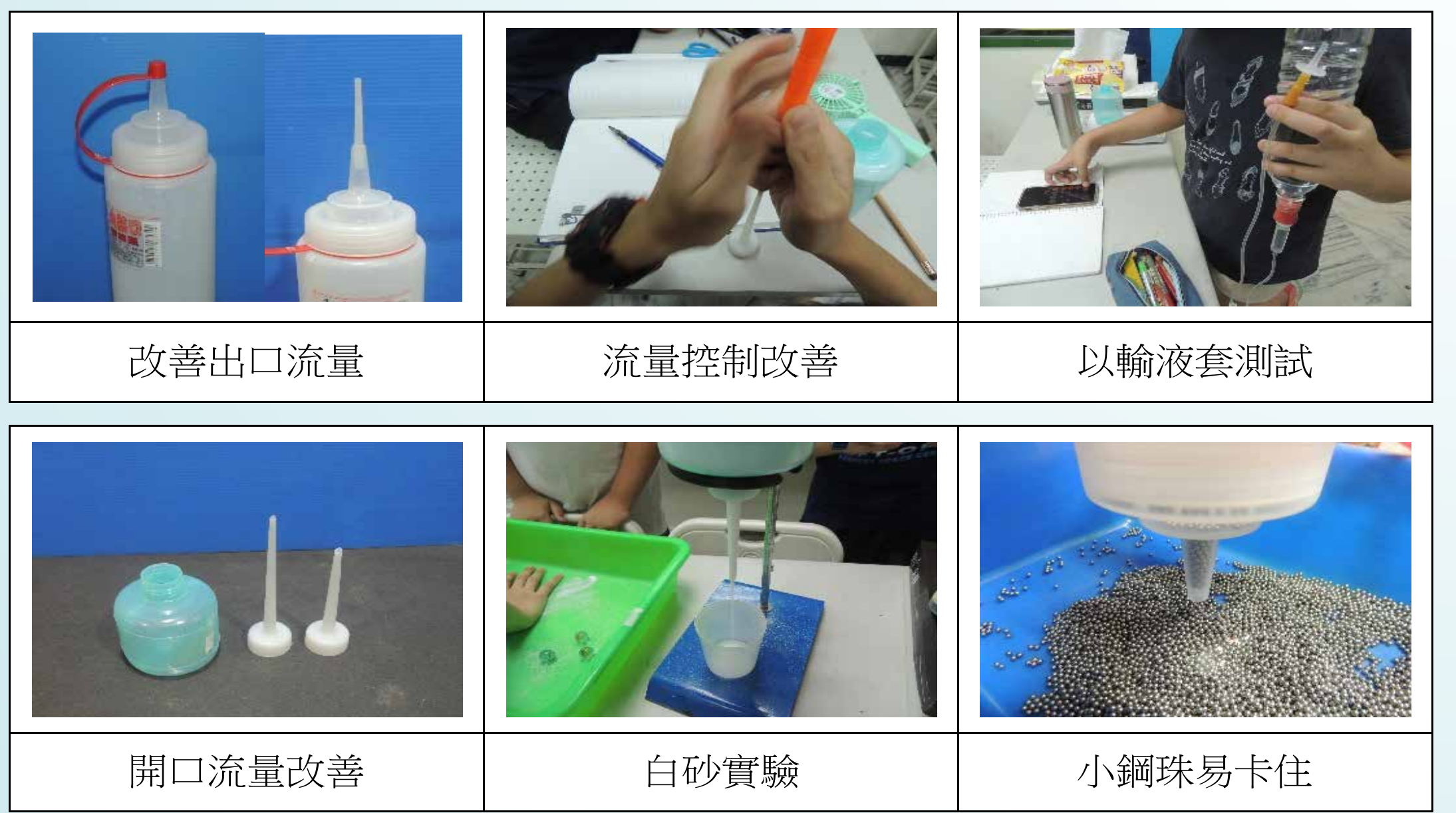


(表1) 夏至與冬至仰角

先以12:00的角度開始擺放好太陽能板和燈後，將太陽能板接至多功能電表，紀錄伏特，另將照度計放太陽能板上測量，每次放同一位置。

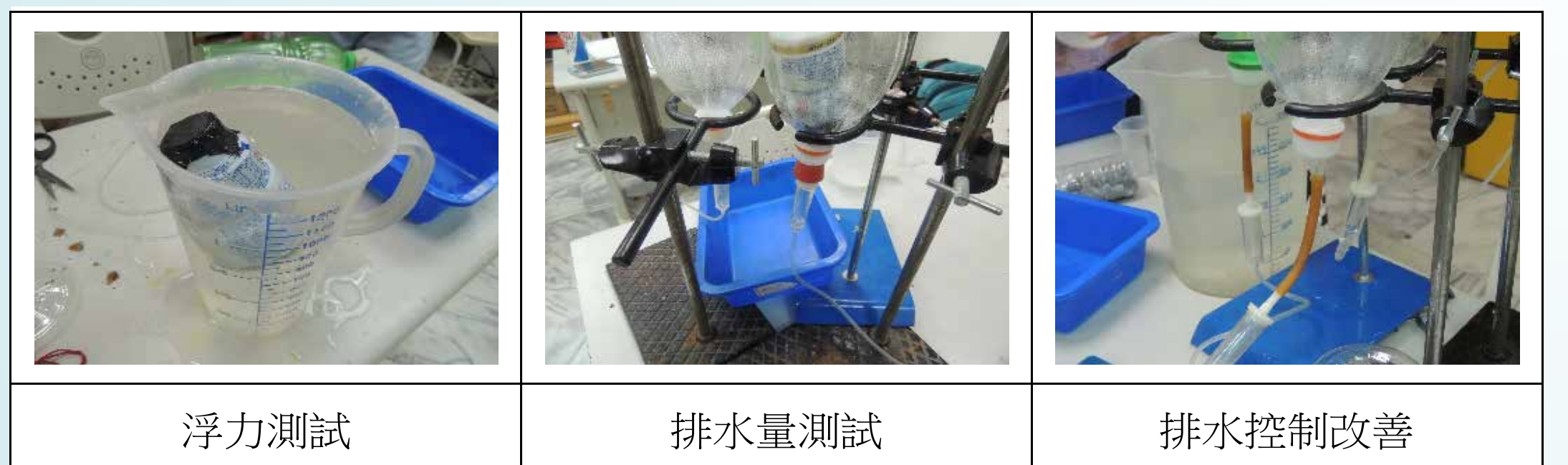


七、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。



八、實驗五：實測10-14時戶外的電壓與照度值。

(一) 排水方式的改良



(二) 實測：本組有製作縮時錄影。

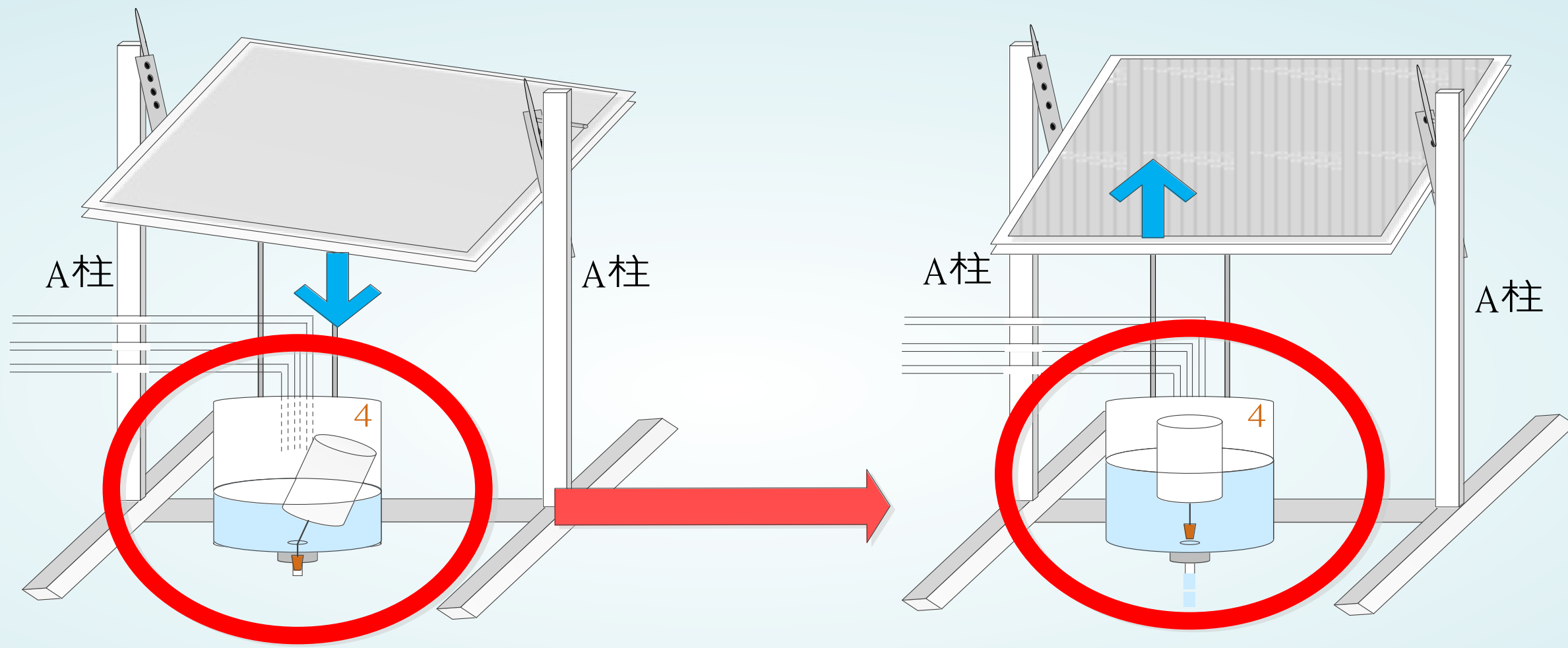


九、實驗六：自動回復原位置

(一) 目的：使追日後朝向西邊的太陽能板能以重力方式回復到原上午的位置。



(二)結構圖與動作說明：

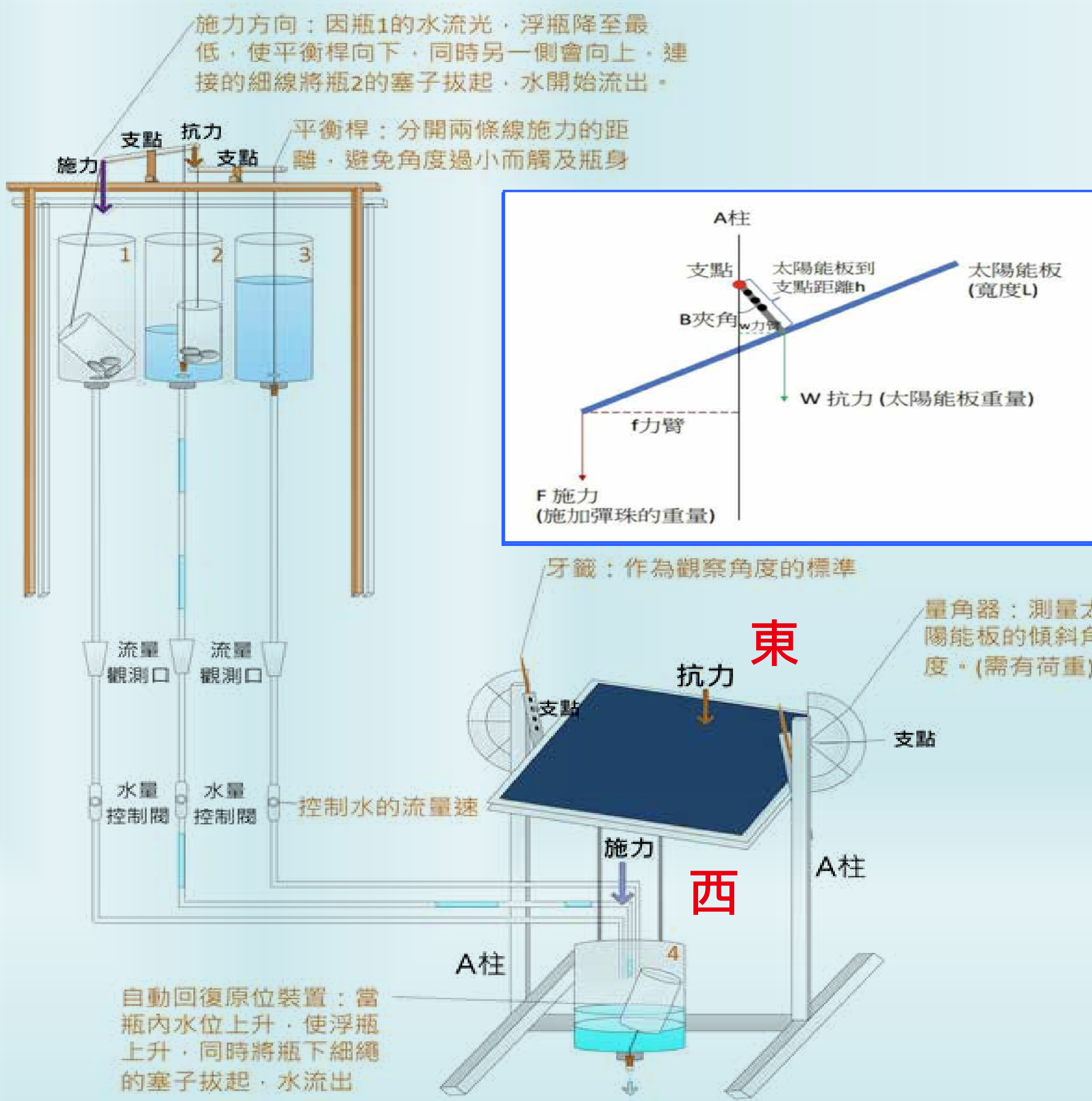


下方排水口堵住，無法排水，水量漸增加，向下施力，太陽能板可進行追日，往前傾斜。

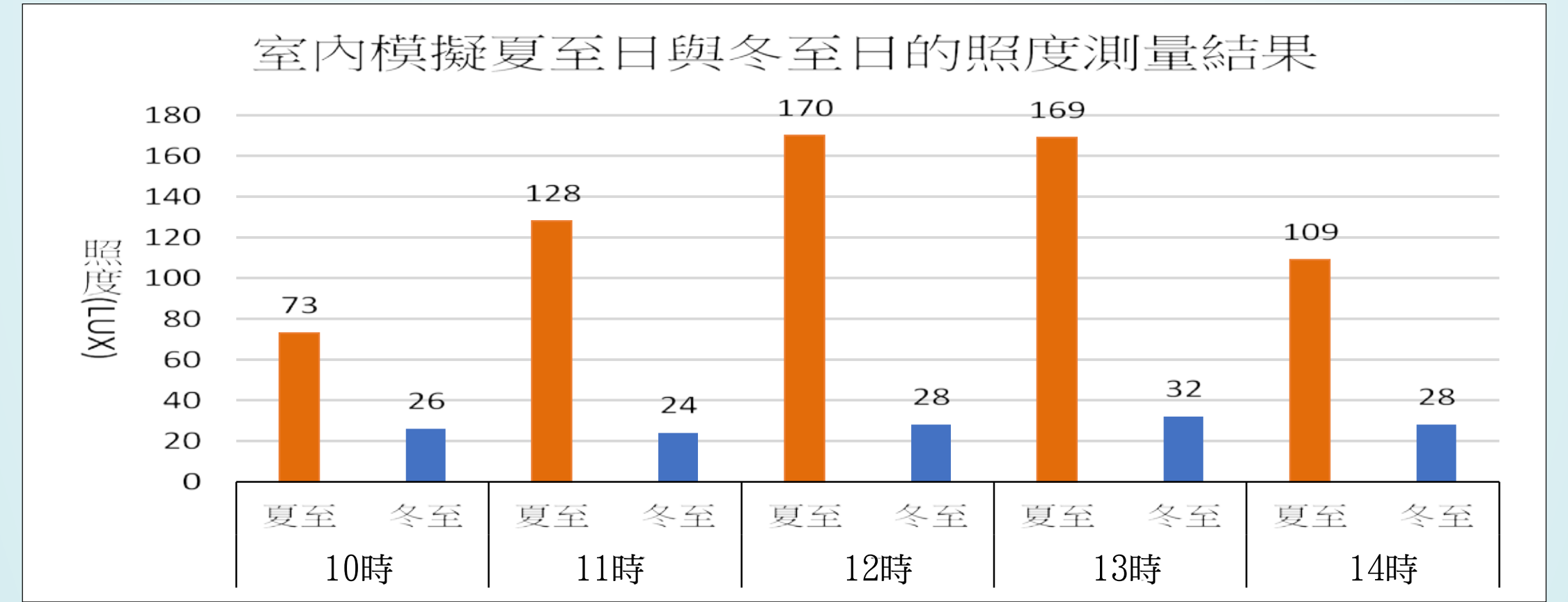
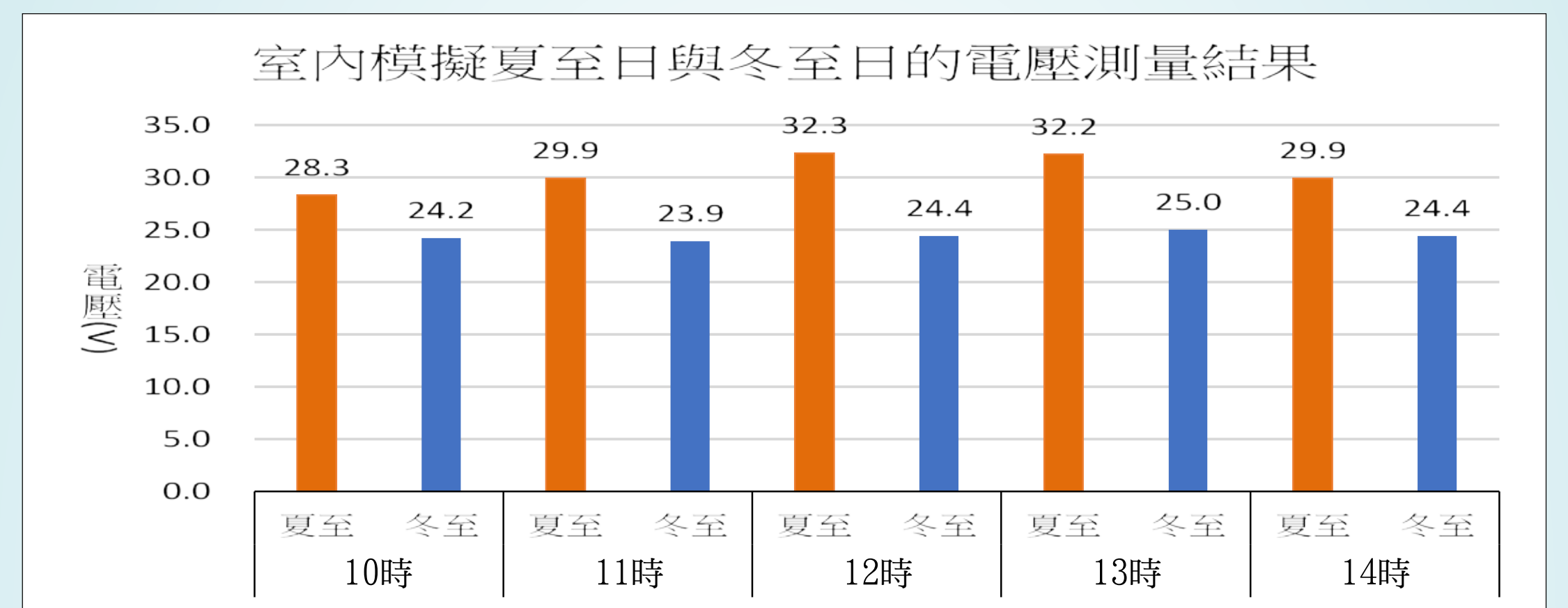
傍晚追日完成，水位讓浮瓶上升，拉開下方塞子，排水口開始排水，太陽能板前端重量減少，會往後傾斜，回復原位置。

伍、研究結果

一、完成的結構圖示：



四、實驗三：在室內模擬測量出夏至與冬至10-14時太陽仰角的照度和電壓值。



結果：由上模擬實驗測量夏至日電壓值較冬至日電壓值為高，夏至日10時(28.3V)與12時(32.3V)有4.0V的差值。而冬至日11時(23.9V)與13時(25V)有1.1V的差值。

五、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

(一)以水來控制重量

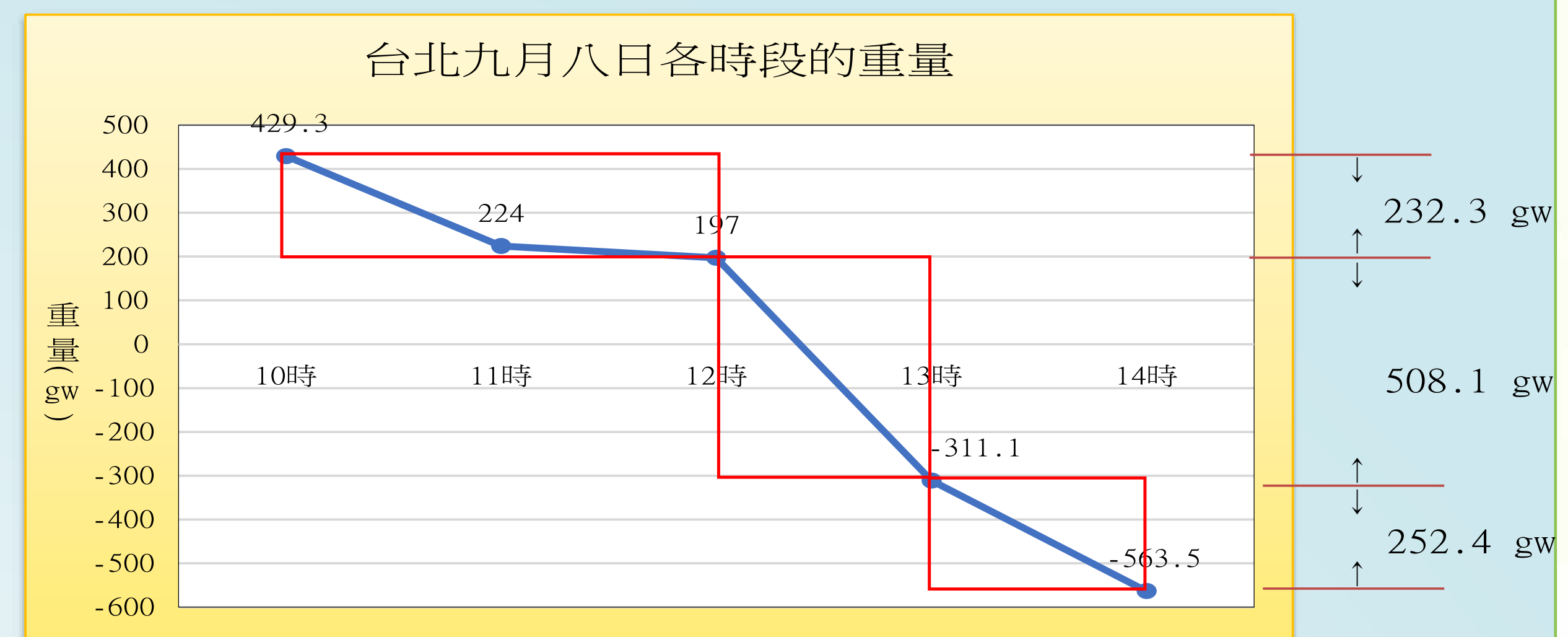
1. 以寶特瓶飲料罐的水量可以有足夠的水量。
2. 瓶口加橡皮塞開小孔，再穿過輸液套塑膠針頭，操作簡易。
3. 輸液套管長 150 cm 調整一致為 80.0 cm。
4. 實驗結果：控制輸液套的流量為 3.56 gw，測試 不同滴數：53 (滴)成功!

(二)沙漏方式測試：會有停頓現象，推打後會正常一段時間。

(三)小鋼珠測試：雖以 2.0 mm 小鋼珠來測試，發現卡在瓶子管口處每次數量約在4-6顆，互相堆疊，雖是給予振動也無法下降。

六、實驗五：實測10-14時戶外的電壓與照度值。

(一)九月八日實測有追日與固定式對照組的結果(有縮時錄影)



九月八日的太陽仰角與重量的關係

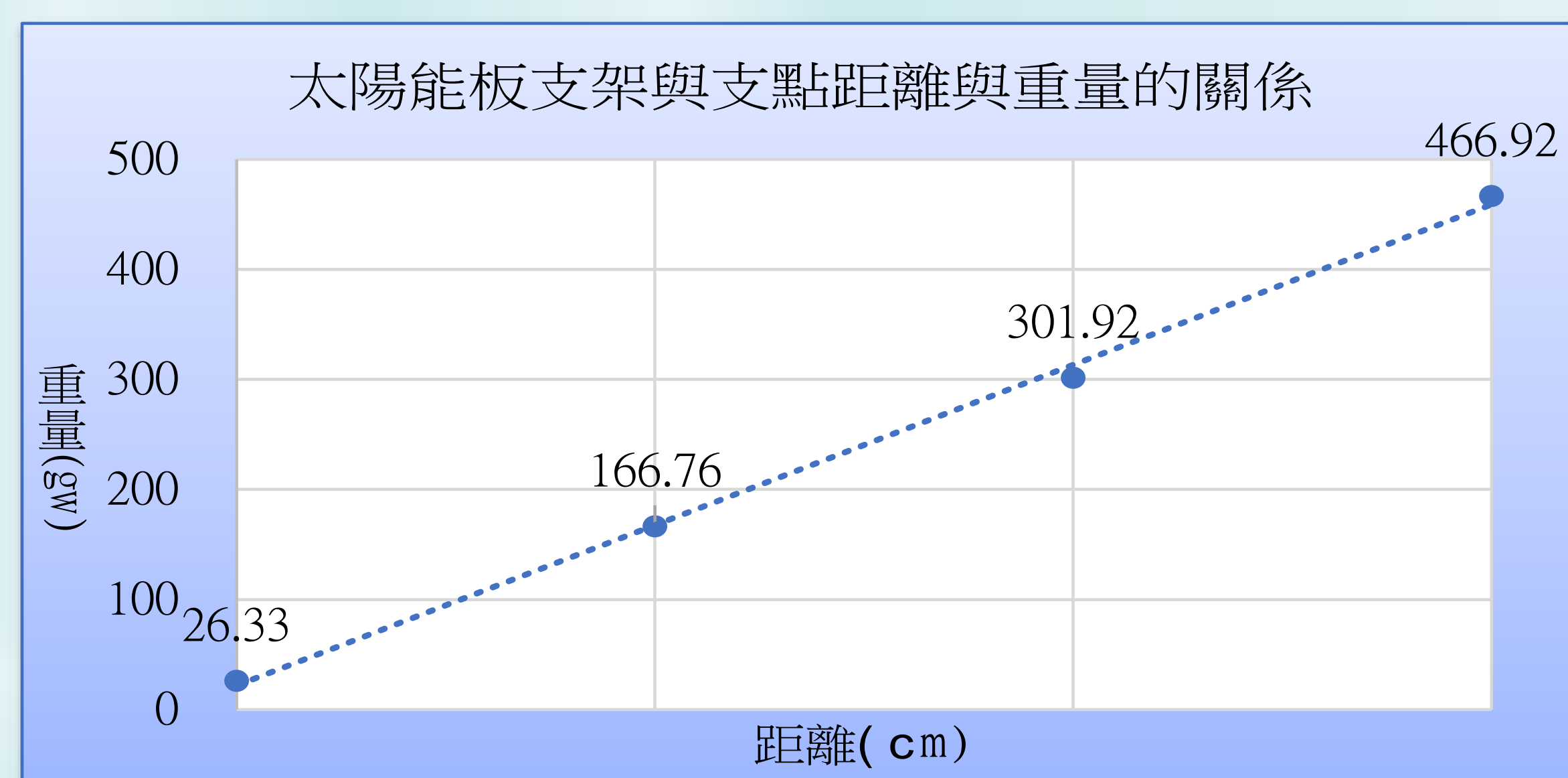
時間	仰角	平均重量(gw)	減少重量(gw)	各瓶水量(gw)	瓶號	所用時間(分)	流量/分	滴數/分
10時	東56.9度	429.3						
11時	東67.0度	224.0	205.3					
12時	東70.7度	197.0	27.0	232.3	1	120	1.9	19.0
13時	西64.9度	-311.1(朝西)	508.1	508.1	2	60	8.5	85.0
14時	西54.0度	-563.5(朝西)	252.4	252.4	3	60	4.2	42.0

二、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

(一)太陽能板傾斜25.0度各孔距所需重量

實驗設計	控制變因	操作變因	應變變因 / 結果
施與重量	彈珠重量調整重量	力臂長度	距離支點 5.0cm 最佳

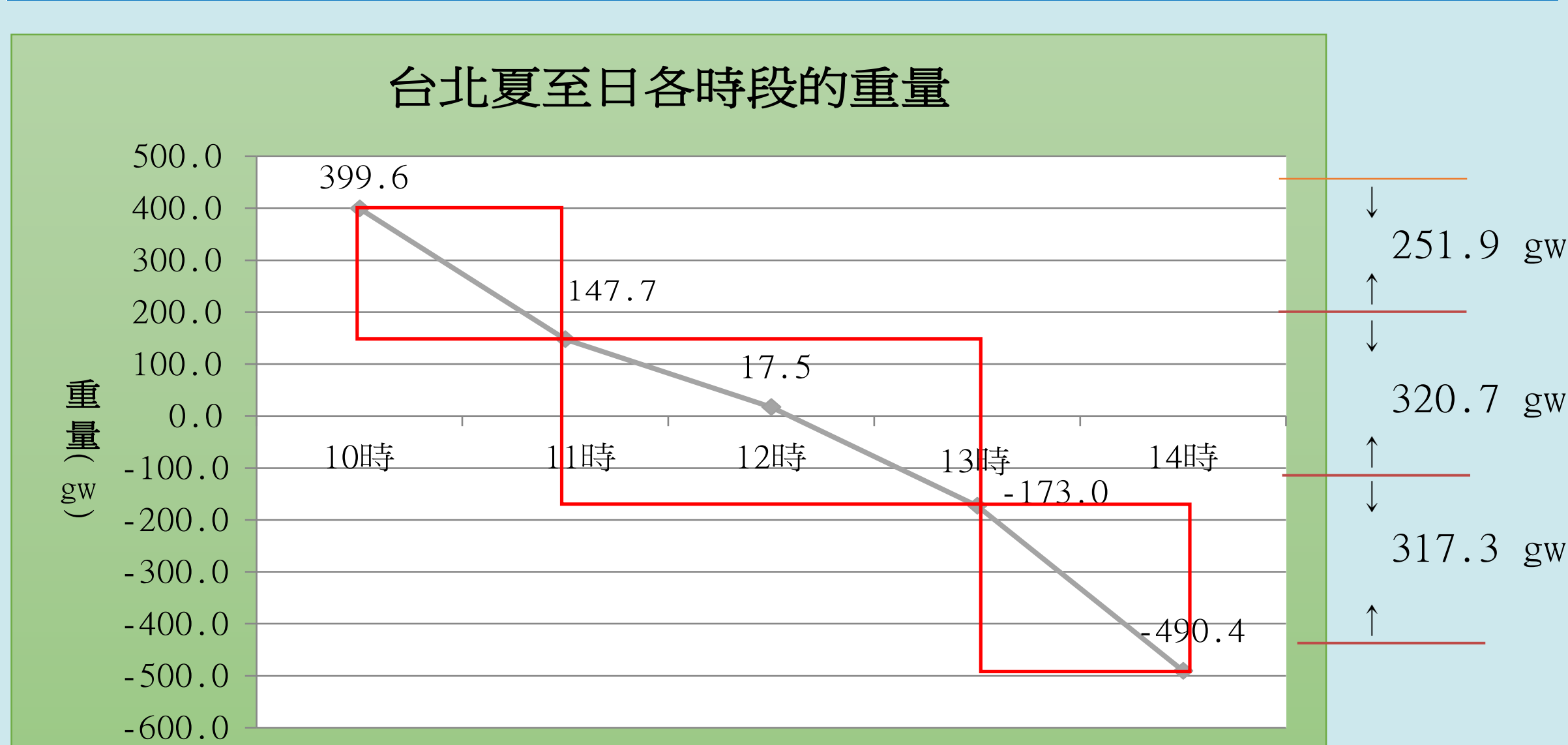
※以10顆彈珠一起測量，平均值為5.26 gw，標準差0.022



結果：固定旋轉架25.0度同角度下，以 5.0 cm 的支點距離荷重166.76 gw較為適當。

三、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

實驗設計	控制變因	操作變因	應變變因/結果
施與重量	彈珠重量調整重量	太陽仰角(度)	重量(gw)



※上圖由10時至11時減少重量251.9 gw，11時至13時二個時段減少130.2+190.5=320.7 gw，13時至14時減少317.3 gw。以此減少重量可以讓太陽能板更能與太陽仰角相配合。

陸、討論

一、實驗失敗與改善過程：

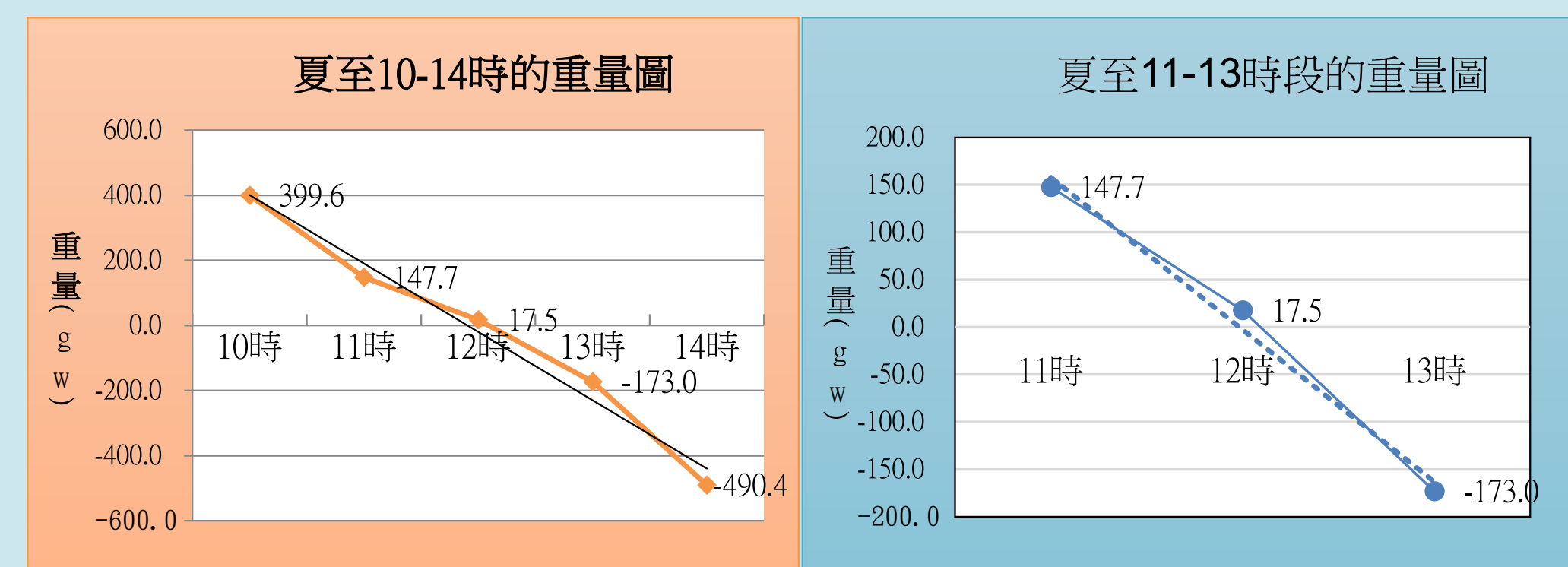
改善項目	失敗原因	改善結果
浮瓶	棉繩吸水荷重後，長度會加長，無法在一定長度拉上塞子排水。	尋找以不吸水無彈性的絲線替代。
	以熱熔膠條製作排水塞子遇熱有黏性，無法將塞子拔起。	改以耐熱矽膠製的塞子。
	浮瓶內控制重量採用彈珠、小石子，因重量不足，拉不動排水塞子，將瓶身加大後，置入寶特瓶內後容易卡到。	彈珠改用鈎魚用鉛錘，其重量可將排水塞子拉起，排水順利。
排水孔	排水後，浮瓶降下拉動另一邊的瓶塞，會卡到瓶身邊緣。	利用槓桿原理將兩端細繩繫於木桿上，使繫繩垂直向下，不會接觸瓶身。
	以縫紉機加油瓶、餐飲作料瓶子測試後，瓶子太小、排水口長度過長，水量大小難易控制。	採用1.5毫升離心管，下方以美工刀切除至適當口徑，確認排水順暢。
蒸發	在陽光下異於蒸發，影響水重量的準確程度	1.加裝活動瓶蓋，不影響槓桿作用的細繩。 2.將保特瓶身，噴上白漆，減少蒸發。(參考資料11)

二、實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。

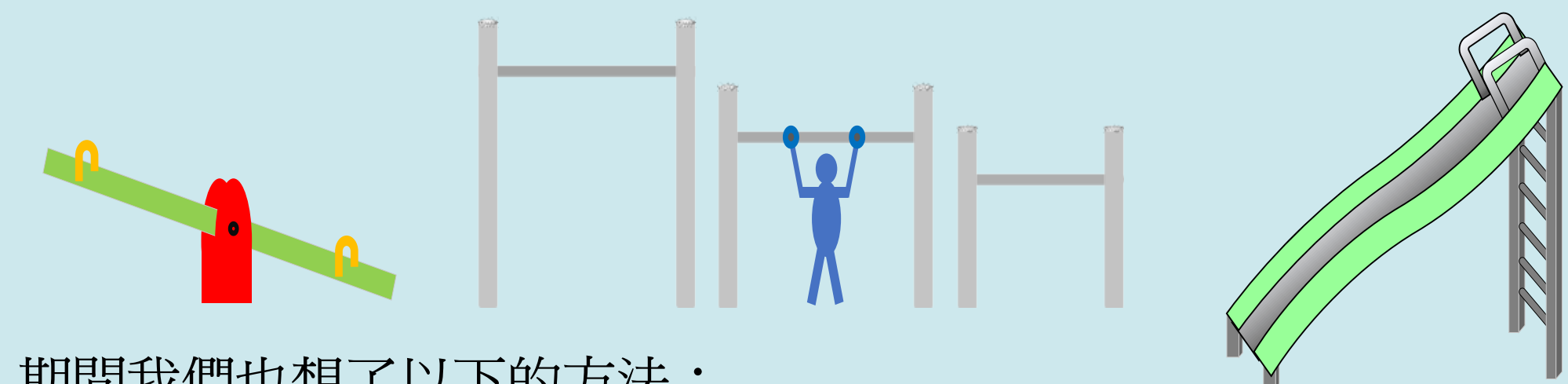
支點在10.0 cm 處，雖有較大的區別重量，但若是實驗時間由8時開始到下午4時，預估要有 1000 gw 以上的重量牽引，才能達實驗所需角度，所以我們決定5.0 cm 處，作為支點。

三、實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

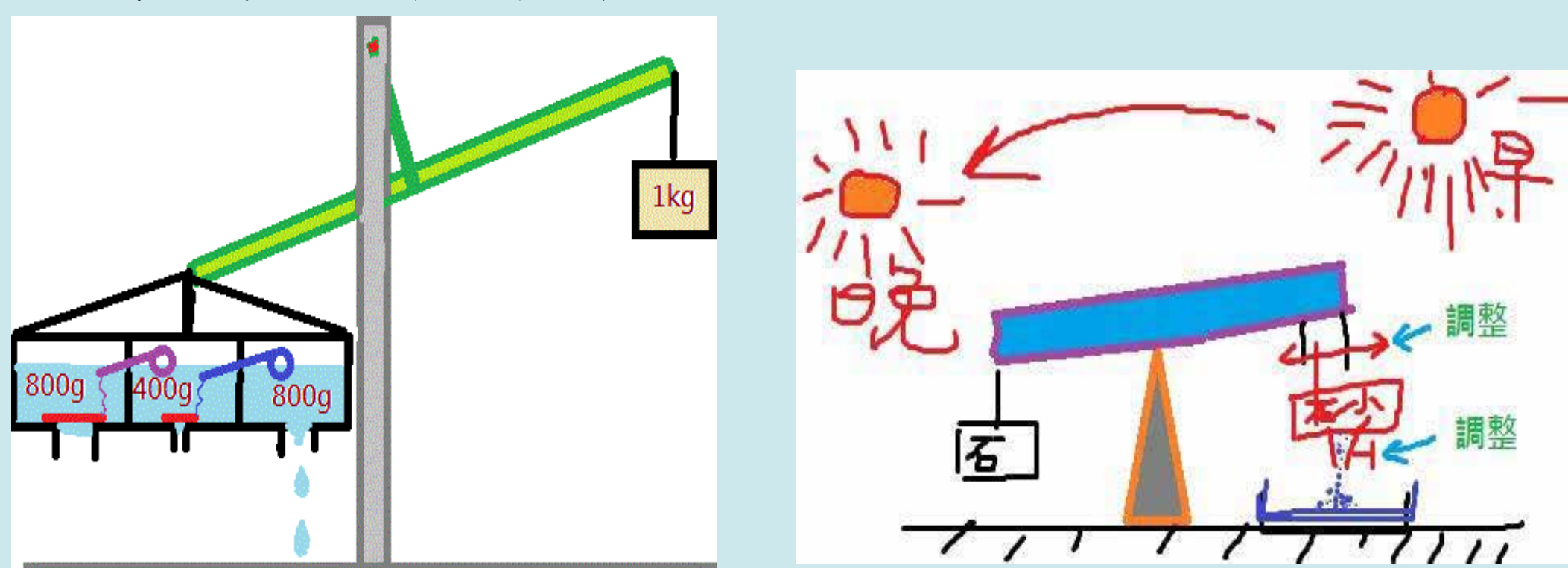
實驗繪圖發現，在中午時段角度改變小，重量也變化較小，若太陽能板角度變化，能盡量吻合太陽方位，則發電量會提高；比較10時至14時與11時至13時有差異，若將此處分成三段，10時至11時是直線，11時至13時是折線，13時至14時是直線，折線由3處減為1處，可提高發電效率。



由上圖10：10至14：00因為不同角度對影響重量，無法成一直線。為改善此問題，我們著手想以不同的重量來控制角度，在不能使用電力來控制的條件下，嘗試許多方式後，有一天，看到公園裡翹翹板旁邊的溜滑梯與單槓，有人在單槓做上下的鍛鍊運動，於是想到三個時段，用三個寶特瓶的不同水流量來控制。



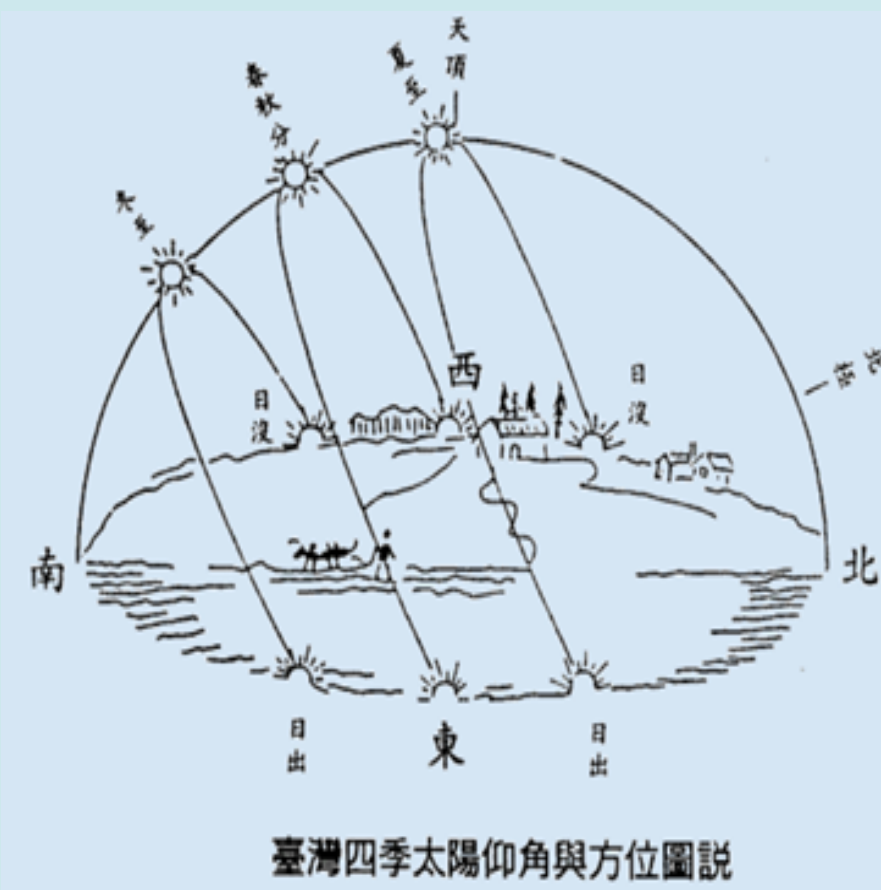
期間我們也想了以下的方法：



提出各種太陽能板無電力追日方式均為可行方式，但都有要改善。

四、實驗三：模擬測量出室內在夏至與冬至10-14時太陽仰角的照度和電壓值。

在室內中模擬夏至日電壓值較冬至日電壓值為高，夏至日10時與12時有 4.0 V 的差值，而冬至日電壓差值最高 1.1 V。冬季差異不大，主因是太陽角所造成，太陽能板在冬季時的發電量有限。追日系統對於較接近赤道的國家，有相當的幫助。



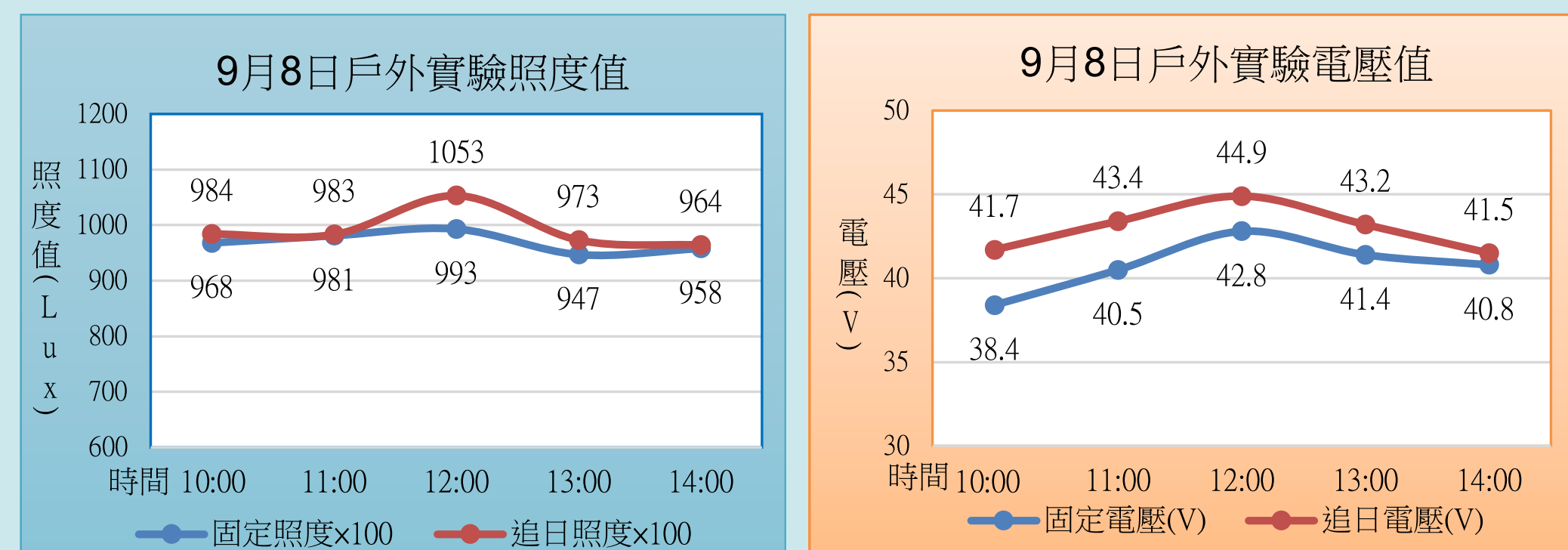
臺灣四季太陽仰角與方位圖說

五、實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。

水還是最容易控制的，唯要克服是蒸發的問題；沙漏的沙子顆粒要相當一致，原用砂子直徑是0.2 mm，我們嘗試用200目的篩網過濾取得細砂，乾燥細沙感覺像流水一般的滑下，已較不會堵塞，但是我們考慮這實用與普及性，所以也放棄了；對於小鋼珠，若是一顆顆流出來，使其不會堵塞，控制困難度極高。

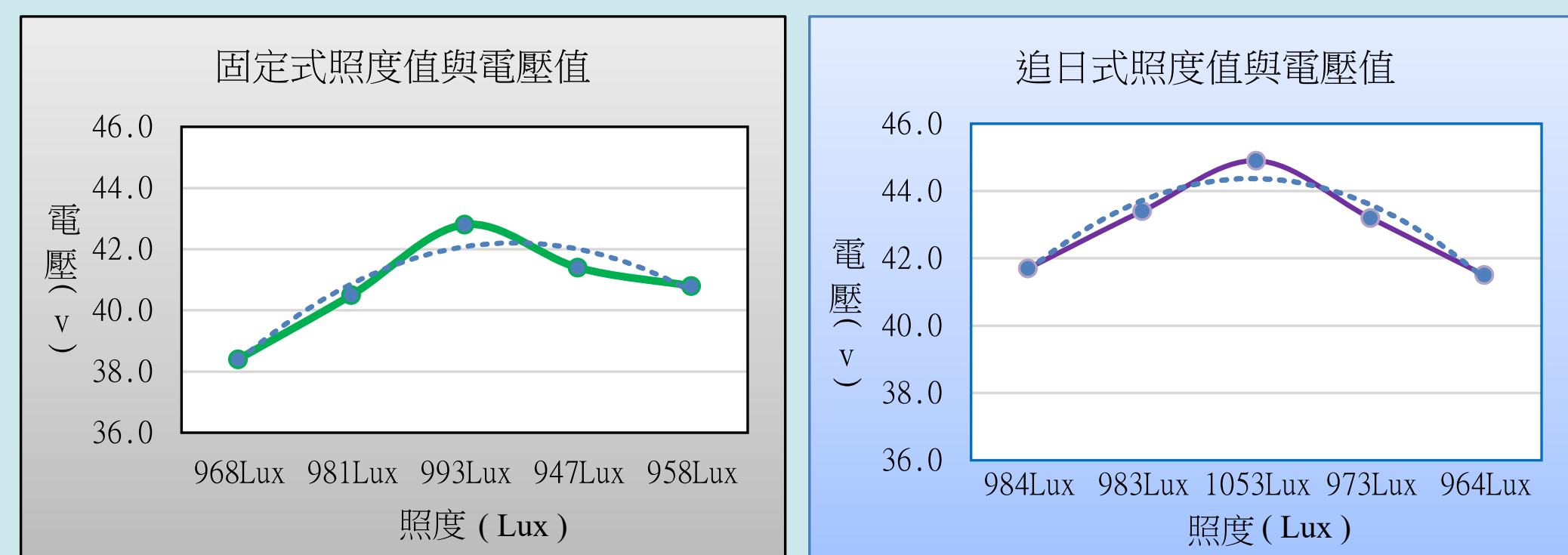
六、實驗五：實測 10-14 時戶外的電壓與照度值。

(一)戶外實驗我們同時也做了固定式的對照組，測得照度與電壓值：我們實驗由五月開始一直做到完成已是九月初，時序已是秋天，距離秋分9/23已近，追日與固定式的照度值是非常的接近。



比較兩者發電量，追日式較固定式為高。

(二)追日式與固定式的照度值和電值的相關係數



- 追日式的照度值較固定式的照度值高，顯示追日式照度值增加，有利發電電壓的提高。
- 追日式五次平均電壓值42.94 V，固定式為40.78 V，提電壓率有 $(42.94 - 40.78) / 40.78 = 5.3\%$ ，以上可知：追日式的太陽能板的效率較固定式為佳。

(三)測量電壓的理由：

發電量是指發電機組可以產生的電量，功率 (P) 的單位是瓦特 (Watt)，1瓦特相等於1焦耳/秒 (J/s)， $W = V \times A$ 即1伏特 (V) 乘以1安培 (A)，所以電壓V與瓦特Watt成正比，電壓越大功率越大。

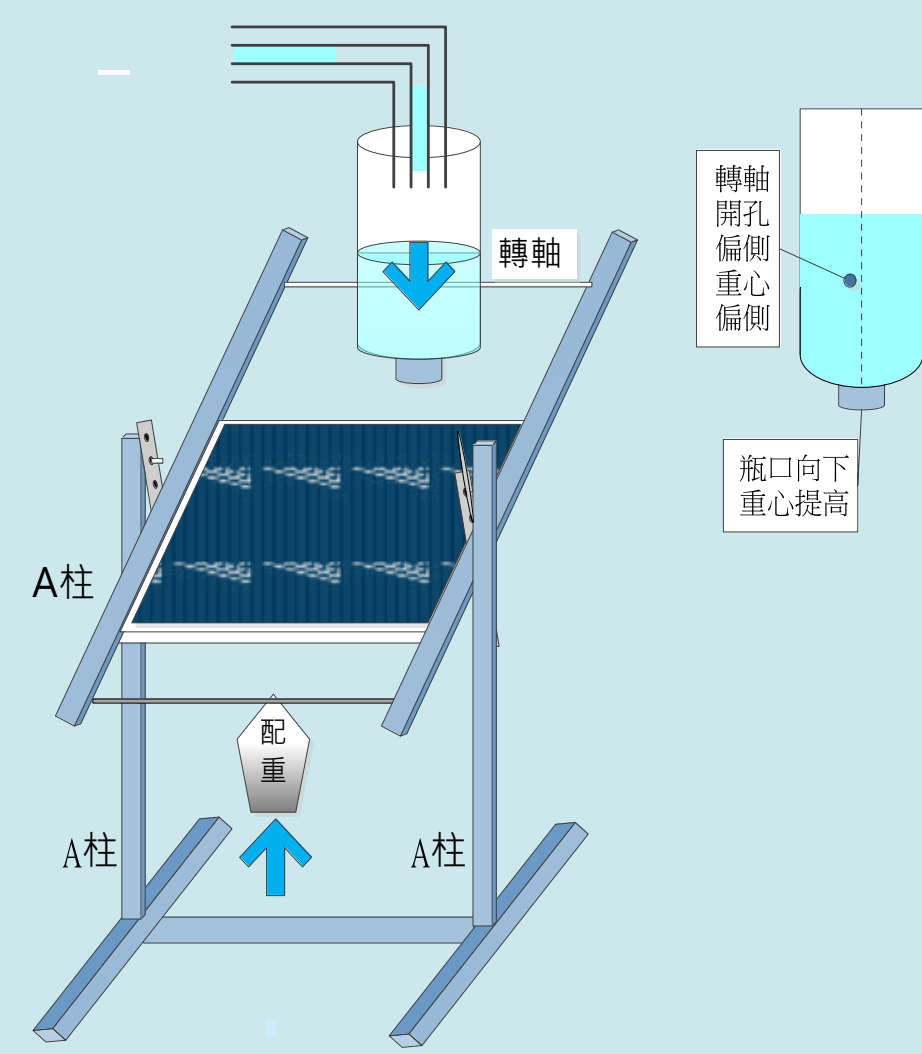
七、實驗六：自動回復原位置

利用暑期時間完成了太陽能板回復原位置與水洗裝置，如圖：

- (一)動機：來自於戲水的遊樂場裡的一種設施，當水桶裝滿水會自動倒掉，再返回原來位置裝水。我們觀察發現：沒水的時候，水桶底部比較重，且比較短，底部會朝下，開口朝上接水，水裝滿後，頂部就比較重，就會倒過來。
- (二)原理說明：

- 在不加水的時候，桶子的重心在轉軸的下方，這個時候瓶口朝上。
- 加水時，隨著水量的增加，水和桶子的等效重心逐漸向上移動。
- 水加到一定程度，重心就到了轉軸的上方了。
- 再加水，只要有稍微的擾動，桶就旋轉把水倒掉，水一倒掉，在力矩作用下，桶就恢復到原來位置，如此重複動作。

八、影響蒸發的因素：我們知道影響蒸發的因素主要有溫、濕度、溶液表面積與周圍空氣流動的等因素，我們將水瓶子噴上白色漆，同時也加上蓋子，以減少水的蒸發。



柒、結論

- 實驗一：找出太陽能板最佳的支撐位置。實驗結果：以距離支撐點5.0 cm為最佳的位置，使負荷重在1000 gw以內。
- 實驗二：找出不同角度位置所需的重量。

※夏至仰角與太陽能板荷重表

時間	10時	11時	12時	13時	14時
仰角(度)	東63.6	東77.2	東88.1	西75.3	西61.7
平均重量(gw)	399.6	147.7	17.5	-173.0	-490.4

本組組裝太陽能板的追日方式以重力方式控制是可行的。

三、實驗三：模擬測量出室內在夏至(6/21)與冬至(12/22)

仰角的照度(lux)和電壓值(v)

時間	10時	11時	12時	13時	14時					
項目	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓	照度	電壓
12/22	26	24.2	24	23.9	28	24.4	32	25.0	28	24.4
6/21	73	28.3	128	29.9	170	32.3	169	32.2	109	29.9

在室內模擬出冬至日與夏至日的照度和電壓值，確認是可在戶外實驗。

- 實驗四：找出以水、沙漏、小鋼珠做為最佳重力控制來改變太陽能板角度。實驗後以水作為重力來源，控制方式使用醫院用的輸液套來控制水的流量。
- 實驗五：實測10-14時戶外的電壓與照度值。我們在9/8日戶外實驗後，發現有追日的太陽能板效率較固定式為高5.3%。
- 實驗六：自動回復原位置。當水量足以使浮瓶下細繩拉開塞子，水即排出，西向端重量逐漸減輕，太陽能板回復原來上午位置。

未來展望

無電力的追日方式，可以省卻追日系統設備的購置、保養……等費用，未來我們會繼續：

- 增設清洗太陽能板裝置的改善項目，如防風、避震的功能，作好無電力追日系統的安全改善。
- 使用大數據方式，收集世界各地的日出入落時間與角度，將太陽能有效率的利用，並利用自動控制每日用水量，符合環境保護與節約能源的考量。

捌、參考資料及其他

- 健行科技大學-Nov,of Theoretical and Applied Mechanic 各種太陽能板的介紹 取自：<https://slidesplayer.com/slide/12410758/>
- 最時尚的智慧型太陽能發電廠—太陽能發電的簡介、使用與保養—太陽能板結構示意圖---2019/10/12 取自：<http://blog.udn.com/escos/18089317>
- 單軸追日系統(圖片)/綠源科技-太陽能追日系統首選 取自：<http://www.green-source.com.tw/tw/satrackers>
- 雙軸追日圖 iPv Tracker ---H-Bean Base 取自：<http://www.ipvtracker.com/products.html>
- 科學人雜誌—聚光又追日 提升太陽能電池功率 取自：<https://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=easylearn&id=1590>
- 孫意涵;謝佳岑;馮子庭;楊宇翔(2016): 真的全自動-全球免設定日光追蹤系統! 第56屆全國中小學科展作品。取自：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=61&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=9&sid=13307>
- 崧銓科技 無需電力太陽能追日系統 取自：http://www.cnjt.com.tw/product_show.asp?seq=21
- 台灣的日照及風向—台灣四季太陽仰角與方位圖—2019/07/27 取自：<https://deepocean101.pixnet.net/blog/post/163021593>
- 交通部中央氣象局。台灣四季仰角與方位角 取自：<https://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/astromy/cdata/season.htm>
- 喬薇、簡毓萱(2014): 雙軸控制太陽位置追蹤器之研製。中華民國第54屆中小學科學展覽會。
- 朱佳仁、陳建翰、李勝雄、劉日順(2014): A型蒸發皿顏色對蒸發量之影響氣象學報第51卷第1期。